

**TESIS**

**RANCANGAN OPERASIONAL EFISIENSI BAHAN  
BAKAR *DUMP TRUCK* HD785 PADA AKTIVITAS  
PERTAMBANGAN PT. ABC**



**ARYNANDO SUPONO  
23916004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
PROGRAM MAGISTER  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2025**

**TESIS**

**RANCANGAN OPERASIONAL EFISIENSI BAHAN  
BAKAR *DUMP TRUCK* HD785 PADA AKTIVITAS  
PERTAMBANGAN PT. ABC**



**ARYNANDO SUPONO  
23916004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
PROGRAM MAGISTER  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2025**

**RANCANGAN OPERASIONAL EFISIENSI BAHAN  
BAKAR *DUMP TRUCK* HD785 PADA AKTIVITAS  
PERTAMBANGAN PT. ABC**

**TESIS**

Untuk Memperoleh Gelar Magister pada Program  
Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



**DISUSUN OLEH:**

**Arynando Supono**

**23916004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
PROGRAM MAGISTER  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2025**

## SURAT PERNYATAAN

Demi Allah saya menyatakan bahwa seluruh karya materi tesis ini yang berjudul **“RANCANGAN OPERASIONAL EFISIENSI BAHAN BAKAR *DUMP TRUCK* HD785 PADA AKTIVITAS PERTAMBANGAN PT. ABC”** merupakan hasil karya saya sendiri, kecuali pada beberapa kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumber referensinya. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya ketidak benaran dan melanggar peraturan yang sah dalam penulisan karya tulis ini dan hak kekayaan intelektual, maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 7 November 2025



  
Arynando Supono

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**RANCANGAN OPERASIONAL EFISIENSI BAHAN BAKAR  
DUMP TRUCK HD785 PADA AKTIVITAS PERTAMBANGAN  
PT. ABC**



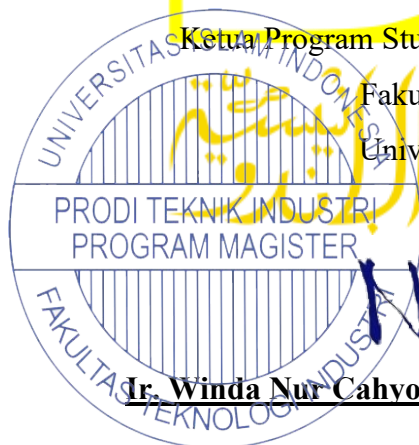
**Dr. Ir. Agus Mansur S.T., M.Eng.Sc., IPU., ASEAN.Eng.**  
NIP 985220102

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



**Dr. Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN.Eng.**  
NIP 025200519

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

### RANCANGAN OPERASIONAL EFISIENSI BAHAN BAKAR *DUMP* *TRUCK* HD785 PADA AKTIVITAS PERTAMBANGAN PT. ABC

Tesis  
Disusun oleh:

Nama : Arynando Supono  
NIM : 23916004

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji  
Program Studi Teknik Industri Program Magister Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Pada Tanggal 7 November 2025

#### Tim Penguji

Dr. Ir. Agus Mansur S.T., M.Eng.Sc., IPU., ASEAN.Eng.

Ketua

Dr. Drs. Imam Djati Widodo, S.T., M.Eng.Sc

Anggota I

Ir. Hartomo, S.T., M.Sc., Ph.D., CRP., IPU., ASEAN.Eng.

Anggota II

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

PRODI TEKNIK INDUSTRI  
PROGRAM MAGISTER

Ir. Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., IP.M., ASEAN.Eng. APEC.Eng

NIP 025200519

## HALAMAN PERSEMBAHAN

(أَلْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ) بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ *Alhamdulillah hirobbil alamin*, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah membrikan nayka karunia, keberkahan, kesehatan, keselamatan, dan kesmeptan yang tak terhingga. Sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata-2 pada Studi Teknik Industri Program Magister Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Meskipun masih banyak kekurangan yang tidak sempurna, namun penulis sangat bersyukur dan bangga dapat menyelesaikan tugas ini, sehingga Tesis ini dapat diselesaikan dengan tepta waktu.

Untuk yang persembahan Tesis ini saya haturkan kepada:

1. Istri dan anak-anakku yang telah mendukung dan membantu dalam banyak hal dalam proses perkuliahan. *I love you full, my support system.*
2. Kepada orang tua dan mertua, salam hormat kepada para beliau, yang tulus mendorong pendidikan yang berkelanjutan melalui doa-doa yang dipanjatkan kepada Allah SWT. Salam taklim dari anakmu ini.
3. Saudara-saudaraku yang sangat saya sayangi, penyemangat hebat selalu kuat tanpa terlewat.
4. Kepada teman seangkatan tahun 2023 angkatan 35, teman kerja, dan para pembaca semuanya, yang memberikan masukan, bantuan dan solusi cerdasnya.
5. Kepada para jajaran manajemen perusahaan dimana saya bekerja, yang telah memberikan waktu kepada saya untuk menempuh jalur pendidikan lanjutan dan tempat objek penelitian. Terima kasih sangat kesempatan luar biasa yang diberikan dalam pendidikan ini.

## HALAMAN MOTTO

*Fa inna ma'al usri yusra* (maka, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan).  
*Inna ma'al usri yusra* (sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan). *Fa idza faragtha fanshab* (apabila engkau telah selesai “dengan suatu kebajikan”, teruslah bekerja keras “untuk kebajikan lainnya” (QS. Insyirah, ayat 5 – 7).

Jika ada seseorang yang membuangmu seperti sampah, ketahuilah akan ada seseorang yang mengambilmu seperti berlian (Ali Bin Abi Thalib).

Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik (Ali Bin Abi Thalib).

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ *Alhamdulillah hirobbil alamin* (اَلْحَمْدُ لِلّٰهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ), Segala puji hanya bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Rancangan Operasional Efisiensi Bahan Bakar *Dump Truck* HD785 pada Aktivitas Pertambangan PT. ABC**”, ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program magister. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, suri teladan terbaik bagi umat manusia, yang membawa cahaya ilmu dan petunjuk kebenaran hingga akhir zaman.

Penulisan tesis ini dilatarbelakangi oleh pentingnya efisiensi bahan bakar dalam operasional alat berat, khususnya dump truck HD785, yang memiliki peran strategis dalam kegiatan produksi di perusahaan tambang. Dengan pendekatan ilmiah dan analisis berbasis data, penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi dalam optimalisasi penggunaan bahan bakar guna mendukung keberlanjutan operasional dan efisiensi di PT. ABC.

Tersusunnya tesis ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN.Eng., APEC.Eng selaku Ketua Program Magister Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc., Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, sekaligus sebagai Dosen Penguji I
4. Bapak Dr. Ir. Agus Mansur S.T., M.Eng.Sc., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tesis sekaligus sebagai Dosen Ketua Penguji, yang telah memberikan banyak bimbingan, ilmu, masukan dan motivasi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis dengan sangat baik.

5. Bapak Dr. Ir. Taufiq Immawan, S.T., M.M., IPM., ASEAN.Eng., selaku pembimbing akademik, yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi selama perkuliahan.
6. Bapak Ir. Hartomo, S.T., M.Sc., Ph.D., CRP., IPU., ASEAN.Eng., selaku Dosen Penguji II.
7. Kepada seluruh dosen, pengajar dan para staf di Program Magister Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang secara tulus membagikan ilmu pengetahuan dan memberikan pelayanan terbaik selama penulis menempuh masa perkuliahan.
8. Jajaran Manajemen, para staf dan tim operasional PT ABC, atas kesempatan dan data yang diberikan, sehingga penelitian ini dapat dilakukan dengan baik.
9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi amal jariyah yang diridhai Allah SWT.

Yogyakarta, 7 November 2025

Penulis

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang efisiensi operasional dan menilai pencapaian jumlah konsumsi bahan bakar *dump truck* HD785 terhadap target yang telah ditetapkan di PT ABC, melalui analisis parameter *fuel consumption* dan *productivity*. Rancangan diawali dari penghitungan *fuel ratio* dilanjutkan dengan analisis regresi linier berganda. Metode regresi linier berganda digunakan untuk mengidentifikasi hubungan statistik antara variabel bebas (*productivity* dan *fuel consumption*) terhadap variabel terikat (*fuel ratio*), serta untuk menentukan signifikansi dan kontribusi relatif dari setiap faktor. Selanjutnya, dilakukan pencarian titik efisiensi optimal dari setiap faktor dan level tertentu menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan teknik perancangan eksperimen yang bertujuan untuk menentukan kombinasi faktor dan level kontrol yang optimal guna meningkatkan kualitas dan efisiensi proses operasional.

Penghitungan awal rata-rata *fuel consumption* sebesar 74,39 liter/h, *productivity* sebesar 239,69 bcm/h.km, dan *fuel ratio* 0,31. Melalui model regresi linier berganda, didapat nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) 0,988, nilai signifikansi Uji F 0,001 ( $<0,05$ ), dan nilai signifikansi Uji t *fuel consumption* 0,004 dan *productivity* 0,001. Hasil ANOVA pada metode Taguchi diperoleh kontribusi dominan dari faktor *economy mode* 71,14% dan 81,76% terhadap variabilitas. Kombinasi level optimal adalah A3-B1-C2-D3, diperoleh rata-rata konsumsi sebesar 71,54 liter/jam. Nilai selang kepercayaan 90% (70,49 - 73,03 liter/jam) dan 95% (70,22 - 73,29 liter/jam). Nilai *S/N Ratio* membaik dari -37,42 dB menjadi -37,10 dB, konsumsi bahan bakar sebelumnya 74,32 liter/jam menjadi 71,54 liter/jam. Kondisi optimal pada eksperimen konfirmasi *fuel consumption* 71,54 liter/jam, *productivity* 239,73 bcm/h.km, dan *fuel ratio* 0,30. Dengan demikian, pendekatan regresi linier berganda dan metode Taguchi dinyatakan efektif sebagai dasar rancangan efisiensi konsumsi bahan baka pada operasional *dump truck* HD785.

**Kata kunci:** *Fuel ratio*, *dump truck* HD785, rancangan efisiensi bahan bakar, regresi linier berganda, metode taguchi, eksperimen konfirmasi, ANOVA.

## DAFTAR ISI

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| SURAT PERNYATAAN .....                                                    | iii  |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....                                        | iv   |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....                                           | v    |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                                                 | vi   |
| HALAMAN MOTTO .....                                                       | vii  |
| KATA PENGANTAR .....                                                      | viii |
| ABSTRAK .....                                                             | x    |
| DAFTAR ISI .....                                                          | xi   |
| DAFTAR TABEL .....                                                        | xiv  |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                       | xvi  |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                                                   | 17   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                  | 17   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                 | 20   |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                               | 20   |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                              | 20   |
| 1.5 Batasan Penelitian .....                                              | 21   |
| 1.6 Asumsi .....                                                          | 21   |
| 1.7 Sistematika Penulisan .....                                           | 21   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                             | 23   |
| 2.1 Kajian Induktif (Penelitian Terdahulu) .....                          | 23   |
| 2.2 Kajian Deduktif .....                                                 | 38   |
| 2.2.1 Proses penambangan batubara .....                                   | 38   |
| 2.2.2 Konsep efisiensi biaya operasional unit <i>dump truck</i> .....     | 41   |
| 2.3 Efisiensi Konsumsi Bahan bakar .....                                  | 42   |
| 2.4 Regresi Linier Berganda .....                                         | 44   |
| 2.4.1 Tahapan dalam analisis regresi linier berganda .....                | 45   |
| 2.4.2 Kriteria dan statistik dalam evaluasi regresi linier berganda ..... | 46   |
| 2.5 Metode Desain Eksperimen .....                                        | 49   |
| 2.5.1 Pendekatan filosofi metode taguchi .....                            | 50   |

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.5.2 Desain eksperimen .....                                              | 52  |
| 2.5.3 <i>Orthogonal array</i> .....                                        | 57  |
| 2.5.4 Faktor yang memengaruhi proses desain eksperimen Taguchi .....       | 60  |
| 2.5.5 Klasifikasi dari desain eksperimen .....                             | 60  |
| 2.5.6 Rancangan eksperimen metode Taguchi .....                            | 61  |
| 2.6 <i>Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)</i> .....                         | 63  |
| 2.7 Konsep <i>Loss Function</i> .....                                      | 67  |
| 2.8 ANOVA .....                                                            | 69  |
| BAB III METODE PENELITIAN .....                                            | 74  |
| 3.1 Objek Penelitian .....                                                 | 74  |
| 3.2 Pengumpulan Data .....                                                 | 76  |
| 3.2.1 Pengumpulan data .....                                               | 76  |
| 3.2.2 Metode Pengolahan Data .....                                         | 77  |
| 3.3 <i>Fuel Ratio</i> .....                                                | 79  |
| 3.4 Analisis Regresi Linier Berganda .....                                 | 79  |
| 3.4.1 Persiapan data dan estimasi model .....                              | 80  |
| 3.4.2 Uji asumsi klasik .....                                              | 82  |
| 3.4.3 Uji kelayakan model .....                                            | 83  |
| 3.4.4 Interpretasi model .....                                             | 84  |
| 3.5 Desain Parameter Taguchi .....                                         | 85  |
| 3.5.1 Penentuan matrik <i>orthogonal array</i> .....                       | 90  |
| 3.5.2 Penghitungan <i>S/N Ratio</i> hasil eksperimen .....                 | 91  |
| 3.5.3 Menghitung <i>analysis of variance (ANOVA)</i> .....                 | 92  |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....                                       | 96  |
| 4.1 Olah Data Regresi Linier .....                                         | 96  |
| 4.1.1 Uji asumsi klasik .....                                              | 99  |
| 4.1.2 Uji kelayakan model .....                                            | 103 |
| 4.1.3 Interpretasi model .....                                             | 105 |
| 4.2 Analisis Hasil Eksperimen Konsumsi Bahan Bakar .....                   | 106 |
| 4.2.1 Pengaruh faktor terhadap faktor rata-rata konsumsi bahan bakar ..... | 107 |
| 4.2.2 Pengaruh faktor terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar .....     | 116 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3 Kombinasi level faktor optimal untuk konsumsi bahan bakar .....        | 121 |
| 4.2.4 Prediksi rata-rata konsumsi bahan bakar pada kondisi optimal .....     | 123 |
| 4.2.5 Eksperimen konfirmasi konsumsi bahan bakar .....                       | 125 |
| 4.3 Verifikasi Eksperimen Konfirmasi Kondisi Optimal .....                   | 129 |
| 4.3.1 Verifikasi konfirmasi <i>fuel ratio</i> .....                          | 129 |
| 4.3.2 Verifikasi analisis regresi linier berganda .....                      | 131 |
| 4.4 Penghitungan Aspek Produktivitas Menggunakan <i>Main Effect Analysis</i> | 135 |
| 4.5 Penghitungan Biaya .....                                                 | 138 |
| BAB 5 KESIMPULAN .....                                                       | 145 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                         | 145 |
| 5.2 Saran .....                                                              | 148 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                         | 150 |
| LAMPIRAN I .....                                                             | 156 |
| LAMPIRAN II .....                                                            | 158 |
| LAMPIRAN III .....                                                           | 159 |
| LAMPIRAN IV .....                                                            | 160 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1 Penelitian terdahulu .....                                                  | 31  |
| Tabel 2.2 Tabel <i>orthogonal array</i> sesuai faktor dan level .....                 | 58  |
| Tabel 2.3 Contoh <i>orthogonal array</i> $L_9(3^4)$ .....                             | 59  |
| Tabel 2.4 Karakteristik kualitas .....                                                | 64  |
| Tabel 3.1 Parameter kinerja <i>fuel ratio</i> .....                                   | 79  |
| Tabel 3.2 Penentuan faktor dan level eksperimen .....                                 | 89  |
| Tabel 3.3 Kombinasi faktor dan level dalam eksperimen .....                           | 90  |
| Tabel 3.4 Keluaran hasil eksperimen .....                                             | 91  |
| Tabel 3.5 Format hasil penghitungan ANOVA rata-rata .....                             | 95  |
| Tabel 4.1 Data pencapaian kinerja unit .....                                          | 97  |
| Tabel 4.2 Data uji <i>multikolinieritas</i> .....                                     | 100 |
| Tabel 4.3 Data uji <i>autokorelasi</i> .....                                          | 100 |
| Tabel 4.4 Uji keandalan model (Uji F) .....                                           | 103 |
| Tabel 4.5 Uji koefisien regresi .....                                                 | 104 |
| Tabel 4.6 Uji koefisien determinasi .....                                             | 105 |
| Tabel 4.7 Uji kelayakan koefisien .....                                               | 105 |
| Tabel 4.8 Penetapan faktor dan level eksperimen .....                                 | 106 |
| Tabel 4.9 Hasil eksperimen jumlah konsumsi bahan bakar .....                          | 107 |
| Tabel 4.10 Hasil penghitungan <i>main effect analysis</i> .....                       | 108 |
| Tabel 4.11 Penghitungan nilai terhadap efek <i>S/N Ratio</i> .....                    | 111 |
| Tabel 4.12 <i>Analysis of variance</i> dari rata-rata konsumsi bahan bakar .....      | 114 |
| Tabel 4.13 Level faktor kontrol yang optimal hasil eksperimen .....                   | 116 |
| Tabel 4.14 Hasil penghitungan <i>main effect S/N Ratio</i> rata-rata hasil eksperimen | 117 |
| Tabel 4.15 <i>Analysis of variance</i> dari <i>S/N Ratio</i> hasil eksperimen .....   | 118 |
| Tabel 4.16 ANOVA penggabungan ( <i>Pooling Up</i> ) hasil eksperimen .....            | 119 |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 4.17 Level faktor kontrol yang optimal berdasarkan <i>S/N Ratio</i> hasil eksperimen konsumsi bahan bakar ..... | 121 |
| Tabel 4.18 Usulan rancangan operasional sebagai faktor dan level .....                                                | 122 |
| Tabel 4.19 Hasil <i>S/N Ratio</i> eksperimen konfirmasi konsumsi bahan bakar .....                                    | 125 |
| Tabel 4.20 <i>Mean Difference</i> Dan <i>Square Difference</i> Hasil Eksperimen Konfirmasi .....                      | 126 |
| Tabel 4.21 Perbandingan kondisi konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah eksperimen Taguchi .....                     | 128 |
| Tabel 4.22 Data kinerja unit eksperimen konfirmasi kondisi optimal .....                                              | 129 |
| Tabel 4.23 Data uji <i>multikolinieritas</i> kondisi optimal .....                                                    | 131 |
| Tabel 4.24 Data uji <i>autokorelasi</i> kondisi optimal .....                                                         | 131 |
| Tabel 4.25 Uji keandalan model (Uji F) kondisi optimal .....                                                          | 133 |
| Tabel 4.26 Uji koefisien regresi kondisi optimal .....                                                                | 133 |
| Tabel 4.27 Uji koefisien determinasi kondisi optimal .....                                                            | 134 |
| Tabel 4.28 Uji kelayakan koefisien kondisi optimal .....                                                              | 134 |
| Tabel 4.29 Penetapan faktor dan level eksperimen produktivitas .....                                                  | 135 |
| Tabel 4.30 Hasil eksperimen pencapaian produktivitas .....                                                            | 136 |
| Tabel 4.31 Hasil penghitungan <i>main effect analysis</i> produktivitas .....                                         | 137 |
| Tabel 4.32 Level faktor kontrol optimal untuk produktivitas .....                                                     | 138 |
| Tabel 4.33 Kombinasi optimal level faktor tiap aspek .....                                                            | 138 |
| Tabel 4.34 Perbandingan sebelum dan sesudah eksperimen .....                                                          | 142 |
| Tabel 5.1 Spesifikasi unit HD785 .....                                                                                | 156 |
| Tabel 5.2 Data pengolahan regresi linier berganda .....                                                               | 158 |
| Tabel 5.3 Data penelitian level faktor .....                                                                          | 159 |
| Tabel 5.4 Data eksperimen awal .....                                                                                  | 160 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 2.1 Alur proses penambangan PT. ABC .....                                           | 38  |
| Gambar 2.2 Diagram konsep efisiensi biaya operasi di pertambangan .....                    | 41  |
| Gambar 2.3 Contoh notasi <i>orthogonal array</i> .....                                     | 59  |
| Gambar 2.4 Faktor-faktor yang memengaruhi karakteristik kualitas .....                     | 65  |
| Gambar 3.1 Peta tambang objek penelitian .....                                             | 74  |
| Gambar 3.2 Peta <i>orthophoto</i> tambang objek penelitian .....                           | 75  |
| Gambar 3.3 Skema Penelitian .....                                                          | 77  |
| Gambar 3.4 Diagram alir metodologi penelitian .....                                        | 78  |
| Gambar 3.5 Regresi linier berganda .....                                                   | 81  |
| Gambar 3.6 Panduan kalkulasi kemiringan dalam satuan persen (%) .....                      | 87  |
| Gambar 4.1 Diagram <i>scatterplot</i> uji <i>heteroskedastisitas</i> .....                 | 102 |
| Gambar 4.2 Diagram <i>normal P-P Plot</i> uji <i>normalitas</i> .....                      | 102 |
| Gambar 4.3 Diagram <i>main effect plot</i> rata-rata jumlah konsumsi bahan bakar ...       | 109 |
| Gambar 4.4 Diagram <i>main effect plot S/N Ratio</i> konsumsi bahan bakar .....            | 117 |
| Gambar 4.5 Diagram <i>scatterplot</i> uji <i>heteroskedastisitas</i> kondisi optimal ..... | 132 |
| Gambar 4.6 Diagram <i>Normal P-P Plot</i> uji <i>normalitas</i> kondisi optimal .....      | 132 |
| Gambar 5.1 Dimensi unit HD785 .....                                                        | 157 |

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Industri pertambangan adalah industri yang mengolah sumber daya alam dengan mengambil dan memproses bahan tambang untuk menghasilkan berbagai produk akhir yang dibutuhkan umat manusia. Bahan tambang digolongkan menjadi tiga: logam seperti emas, tembaga, timah, mineral industri seperti granit, andesit, pasir, dan mineral energi seperti batubara, minyak dan gas. Produk industri ini menjadi input utama berbagai industri hilir. (Kementerian ESDM, 2018).

Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang. Dalam izin usaha pertambangan umumnya diberikan kepada perusahaan yang telah memiliki izin usaha pertambangan atau disebut IUP, adalah izin untuk melaksanakan usaha pertambangan (Undang-Undang Republik Indonesia, No. 4, 2009).

Industri pertambangan merupakan salah satu sektor usaha dengan tingkat konsumsi energi tertinggi. Optimalisasi penggunaan bahan bakar dalam sektor ini dapat berkontribusi terhadap praktik pertambangan yang berkelanjutan, melalui penghematan sumber daya energi tak terbarukan serta mitigasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh emisi gas rumah kaca. Mengingat bahwa aktivitas pemuatan dan pengangkutan menyumbang porsi signifikan terhadap total konsumsi energi dalam kegiatan pertambangan, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan konsumsi bahan bakar dalam proses operasional tersebut (Heydar B, H., Rahmani, A., Gholamnejad, J. 2024).

Kemiringan jalan dan aktivitas pertambangan merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan. Mengingat lokasi pertambangan umumnya berada di daerah dengan topografi bervariasi, jalan angkut biasanya dibangun mengikuti kontur

permukaan lahan. Kemiringan jalan sangat mungkin memengaruhi kecepatan, waktu tempuh, dan konsumsi bahan bakar, serta berbanding lurus dengan jumlah energi yang dibutuhkan oleh *dump truck* untuk mengatasi hambatan medan. Semakin tinggi kemiringan jalan, semakin besar pula konsumsi bahan bakarnya. Sebaliknya, jalan dengan kemiringan lebih landai cenderung menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (Hasan, H., Octariando, R. 2022).

Kurangnya metode untuk mengetahui batas kewajaran konsumsi bahan bakar pada operasi pertambangan memungkinkan pendekatan statistik dengan uji dua sisi diterapkan untuk mengamati batas kewajaran konsumsi bahan bakar minyak aktual dibandingkan dengan buku petunjuk peralatannya (Octaviani, B. P., Supriyadi., Hartono, A. 2020).

Konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi ban, usia kendaraan, tingkat perawatan, waktu berhenti (*idle*), parameter pengoperasian mesin, serta pola perpindahan transmisi. Selain faktor internal tersebut, faktor eksternal seperti kondisi cuaca termasuk suhu, kelembapan, dan kecepatan angin, serta kepadatan lalu lintas dan perilaku pengemudi juga berperan penting dalam menentukan efisiensi konsumsi bahan bakar (Burau, A, V., Ramírez, D, A., Sanmiquel, L., Bascompta, M. 2023).

Truk tambang merupakan moda transportasi utama yang digunakan dalam kegiatan pertambangan terbuka dan pengangkutan. Hingga saat ini, aspek ekonomi dari sistem pengangkutan sangat berkaitan erat dengan tingkat konsumsi bahan bakar serta fluktuasi harga minyak. Dalam struktur total biaya operasional pengangkutan bahan galian, komponen biaya transportasi menjadi bagian yang dominan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap konsumsi energi spesifik sangat penting untuk mendukung pemilihan moda transportasi yang rasional dan sesuai dengan kondisi operasi tertentu. Konsumsi bahan bakar pada unit truk tambang ditentukan oleh berbagai parameter operasional dan teknis utama. Namun demikian, masih sedikit perhatian terhadap dampak lingkungan operasi tambang, seperti konfigurasi jalan, jenis permukaan, serta kondisi kerja jalan angkut, terhadap kinerja truk dan tingkat kegagalan mesin. Padahal, faktor-faktor tersebut

berkontribusi signifikan terhadap efisiensi operasional dan keberlanjutan kegiatan pertambangan secara keseluruhan (Bodziony, P., Patyk, M., 2024).

Kekasaran jalan angkut memiliki dampak yang signifikan terhadap konsumsi bahan bakar pada truk tambang dalam kegiatan pertambangan batubara terbuka. Namun, hingga saat ini masih terdapat keterbatasan dalam metode klasifikasi jalan secara kuantitatif yang berkaitan dengan efisiensi bahan bakar. Menanggapi hal tersebut, studi ini mengusulkan suatu metodologi klasifikasi jalan yang berorientasi pada efisiensi bahan bakar khusus untuk pertambangan batu bara terbuka (Luan, B., Zhou, W., Ao, Z., Han, Z., Xiao, Y. 2025).

Konsumsi bahan bakar adalah salah satu cerminan indikator dari jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tertentu atau menyelesaikan sejumlah pekerjaan tertentu. Salah satu permasalahan operasional yang kerap dihadapi dalam penggunaan truk angkut adalah tingginya konsumsi bahan bakar diesel, yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerugian material bagi perusahaan pertambangan. Konsumsi bahan bakar memiliki dampak yang signifikan terhadap perencanaan operasional truk angkut, serta menjadi tolok ukur dalam menilai efisiensi kerja armada (Umidjon, K., Orifjon, K., Shahlo, P. 2025)

*Dump truck* HD785 dari pabrikan aslinya telah dilengkapi dengan fitur pilihan mode daya mesin, yang dirancang untuk memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan daya unit guna mengoptimalkan performa saat beroperasi di lapangan. Fitur ini memungkinkan operator memilih antara dua mode, yaitu *power mode* dan *economy mode*, sesuai dengan kebutuhan operasional. Selain itu, sistem *auto economy mode* merupakan inovasi lanjutan yang memungkinkan aktivasi mode daya secara otomatis berdasarkan kondisi beban unit. Ketika truk dalam kondisi bermuatan berat, sistem secara otomatis mengaktifkan *power mode* untuk menjaga kinerja optimal. Sebaliknya, saat unit tidak membawa muatan, sistem akan beralih ke *economy mode* guna mengurangi konsumsi bahan bakar. Penerapan sistem ini menjadi salah satu strategi efisiensi energi yang efektif dalam pengoperasian truk tambang. Sekaligus memberikan pengaruh langsung terhadap efisiensi bahan bakar, sehingga dapat membantu perusahaan dalam mengendalikan biaya operasional dan menghemat anggaran. (PT Pamapersada Nusantara. 2018).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah yang diambil adalah:

- a. Bagaimana pengaruh faktor-faktor operasional terhadap batas kewajaran konsumsi bahan bakar *dump truck* HD785 di kegiatan pertambangan terbuka?
- b. Bagaimana rancangan metode teknik operasi yang lebih efisiensi dalam upaya optimalisasi konsumsi bahan bakar tanpa mengurangi produktivitas?
- c. Seberapa besar penghematan konsumsi bahan bakar dari metode teknik operasi yang diusulkan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang memengaruhi efisiensi konsumsi bahan bakar pada unit *dump truck* HD785.
- b. Menetapkan metode teknik operasi untuk menurunkan konsumsi bahan bakar pada *dump truck* HD785 tanpa mengurangi produktivitas unit.
- c. Memberikan rekomendasi rancangan strategi metode teknik operasi yang optimal dalam upaya penghematan konsumsi bahan bakar pada *dump truck* HD785, untuk meningkatkan efisiensi operasional diperusahaan tambang batubara.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat:

- a. Hasil penelitian menghasilkan rekomendasi yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar
- b. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan rancangan operasional berbasis efisiensi konsumsi bahan bakar pada unit *dump truck* HD785.
- c. Menjadi referensi bagi perusahaan tambang dalam mengelola konsumsi bahan bakar secara lebih efisien.
- d. Membantu dalam pengambilan keputusan dalam merancang strategi metode teknik operasi dalam pengurangan biaya operasional melalui pengendalian penggunaan bahan bakar.

### 1.5 Batasan Penelitian

Untuk batasan ruang lingkup terhadap permasalahan yang akan diuraikan dalam pembahasan tidak terlalu luas dari obyek penelitian dan mendapatkan hasil yang optimum, batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Lokasi penelitian dibatasi pada satu wilayah atau area pertambangan tertentu.
- b. Variabel yang dianalisis terbatas pada muatan, kemiringan jalan, kecepatan, konsumsi bahan bakar, dan *fuel ratio*.
- c. Faktor dari pengaruh konsumsi bahan bakar yang menjadi fokus penelitian ini adalah pada aspek perlakuan pada unit. Untuk kondisi seperti cuaca, keterampilan operator dan performa unit tidak dimasukkan dalam data ini.

### 1.6 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Operasional unit *dump truck* HD785 berada pada area yang tetap, tidak berpindah-pindah area.
- b. Keterampilan operator *dump truck* memiliki kemampuan standar dan bekerja sesuai standar operasional prosedur ditetapkan perusahaan
- c. Kondisi unit layak operasi, sehingga tidak akan memengaruhi terjadinya penyimpangan konsumsi bahan bakar.

### 1.7 Sistematika Penulisan

Hasil penelitian terkait eksperimen rancangan operasional *dump truck* HD785 terhadap jumlah konsumsi bahan bakar di perusahaan tambang akan diuraikan dalam 5 bab.

## BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang dasar dilakukannya penelitian, termasuk kondisi aktual di lapangan yang mendorong perlunya dilakukan kajian. Dalam bab ini juga dijelaskan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat kajian teori dan konsep-konsep yang relevan sebagai landasan ilmiah dalam menganalisis dan memecahkan masalah penelitian. Tinjauan pustaka mencakup teori-teori terkait efisiensi operasional alat berat, konsumsi bahan bakar, serta metode analisis yang mendukung pelaksanaan eksperimen dan pengolahan data. Landasan teori ini digunakan untuk memperkuat pendekatan metodologis yang diterapkan dalam penelitian.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan jenis penelitian yang digunakan serta tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan rumusan masalah. Bagian ini juga menjelaskan sumber dan teknik pengumpulan data, yaitu data konsumsi bahan bakar, produktivitas, kemiringan jalan, muatan, dan kecepatan unit yang diperoleh dari pangkalan data yang ada di PT. ABC. Selain itu, disajikan konsep eksperimen yang dirancang untuk menguji efisiensi konsumsi bahan bakar dalam operasional *dump truck* HD785.

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis data dari eksperimen yang telah dilakukan, serta pembahasan terhadap rancangan operasional yang dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar. Setiap faktor yang memengaruhi efisiensi diidentifikasi dan dianalisis berdasarkan hasil eksperimen. Hasil analisis ini kemudian dirumuskan ke dalam rancangan operasional yang dapat dijadikan acuan dan rekomendasi implementatif bagi perusahaan dalam meningkatkan efisiensi operasional alat angkut.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun secara ringkas namun mencerminkan capaian dari tujuan penelitian. Selain itu, bab ini juga memuat saran yang ditujukan bagi pihak perusahaan dalam mengimplementasikan rekomendasi operasional, serta saran bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan penelitian serupa agar hasilnya dapat lebih adaptif terhadap dinamika dan tantangan operasional di lapangan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Induktif (Penelitian Terdahulu)

Penelitian-penelitian terdahulu oleh penulis digunakan sebagai bahan untuk referensi dalam mengembangkan penelitian pada objek maupun tema yang sedang penulis lakukan. Dengan mengambil tema dari penelitian terdahulu yang memiliki kemiripan maupun kesamaan terkait tujuan, metode, dan hasil akhir yang diharapkan, sehingga nantinya dapat memperkuat proses penelitian ini.

Penelitian oleh (Yunita., Harsiga, E., 2023), dengan judul “Analisis *Fuel Ratio* Pada Project Penambangan di Pit 1 PT Cahaya Riau Mandiri Jobsite PT Duta Alam Sumatera”. Menganalisa *fuel ratio* sebagai indikator keuntungan atau kerugian dari sisi konsumsi bahan, terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi *loose opportunity*. *Fuel ratio plan* pada *fleet 1* sebesar 0,17 liter/bcm, *fleet 2* sebesar 0,16 liter/ton, *fleet 3* sebesar 0,14 liter/bcm, *fleet 4* sebesar 0,17 liter/bcm, sedangkan *fuel ratio* aktual pada *fleet 1* sebesar 0,18 liter/bcm, *fleet 2* sebesar 0,20 liter/ton, *fleet 3* sebesar 0,16 liter/bcm, *fleet 4* sebesar 0,18 liter/bcm dan selisih *fuel ratio* pada *fleet 1* sebesar 0,01 liter/bcm, pada *fleet 2* sebesar 0,04 liter/ton, pada *fleet 3* sebesar 0,02 liter/bcm dan pada *fleet 4* sebesar 0,01 liter/bcm.

Penelitian oleh (Ramadhani, A. D., Mustofa, A., Melati, S., 2022), dengan judul “Optimalisasi *Fuel Ratio* Alat Gali Muat dan Alat Angkut PT Borneo Alam Semesta”. Menyatakan bahwa produktivitas sangat memengaruhi *fuel ratio*, sehingga dilakukan perbaikan peningkatan produktivitas. Data awal dari *fuel ratio* pada alat gali muat Komatsu PC300 yaitu 0,25 Liter/bcm, sedangkan alat angkut Nissan CWB45 yaitu 0,47 liter/bcm. *Fuel ratio* alat gali muat turun menjadi 0,22-0,28 liter/bcm dan *fuel ratio* alat angkut turun menjadi 0,41- 0,48 liter/bcm.

Penelitian oleh (Mushawir., Hasan, H., Magdalena, H. 2022) dengan judul “Optimasi Konsumsi *Fuel Dump Truck* Terhadap Pengaruh *Grade* Jalan pada Aktivitas Penambangan Pada PT Pamapersada Nusantara Kecamatan Sangatta Utara Kabupaten Kutai Timur”. Mengkaji tentang hubungan pengaruh *grade* jalan terhadap tingkat jumlah konsumsi bahan bakar pada unit *dump truck* HD785-7 di

PT Pamapersada Nusantara. Pada kondisi bermuatan melewati jalan dengan *grade* 2% konsumsi bahan bakar sebesar 0,45 liter, *grade* 5% sebesar 0,77 liter, *grade* 6% sebesar 0,89 liter, *grade* 8% sebesar 1,09 liter. Sedangkan dalam kondisi tanpa muatan melewati jalan dengan *grade* 2% konsumsi bahan bakar sebesar 0,19 liter, *grade* 5% sebesar 0,35 liter, *grade* 6% sebesar 0,4 liter, *grade* 8% sebesar 0,47 liter dan *grade* 9% sebesar 0,52 liter.

Penelitian oleh (Nurkhamim *et al.*, 2023) dengan judul “Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD QUESTER CWE 370 dalam Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel”. Mengkaji tentang hubungan kemiringan jalan, percepatan, RPM, *brake horsepower* dan berat muatan pada alat angkut UD Quester CWE370 terhadap konsumsi bahan bakar, dengan melakukan perlakuan perbaikan geometri jalan alat angkut pada aspek kemiringan jalan. Setelah dilakukan perbaikan pada geometri kemiringan jalan didapatkan bahwa konsumsi bahan bakar menurun dan produktivitas meningkat, dengan jumlah konsumsi bahan bakar sebelumnya 13,63 liter/jam menjadi 12,45 liter/jam.

Penelitian oleh (Attari, M. Y. N., et al., 2021) dengan judul “*Fuel Consumption In Mining Industry Using Partial Least Squares Structural Equation Modeling Approach*”, dengan metode pendekatan *partial least squares structural equation modeling* (PLS-SEM). Meneliti jumlah konsumsi bahan bakar *dump truck* yang memiliki beban kerja terbesar. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan armada pengangkut dengan beban yang besar dapat memberikan dampak besar terhadap konsumsi bahan bakar. Sehingga setiap perbaikan pada peralatan *dump truck* dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap pengurangan konsumsi bahan bakar di tambang terbuka.

Penelitian oleh (Jamaković, J., Mašić, S. 2021) dengan judul “*Fuel Consumption of The Belaz Dump Trucks on an Example of The Open Pit Turija of The Brown Coal Mine Banovići*”. Mengkaji tentang konsumsi bahan bakar dari *dump truck* pengangkut material waste pada *open pit turija* pada area tambang *Coal Mine Banovići*. Menyatakan bahwa pengangkutan beban dalam jumlah yang lebih besar memerlukan konsumsi bahan bakar diesel yang lebih tinggi dan sebaliknya, kualitas permukaan jalan, kondisi cuaca, pengoperasian alat tambahan pada unit,

perubahan panjang rute, perubahan kemiringan jalan, penyerapan teknologi yang tidak memadai dan kondisi lingkungan kerja yang buruk, adalah penyebab dari tingginya konsumsi bahan bakar pada unit Belaz *Dump Trucks*.

Penelitian oleh (Rifa'i, I., 2021) dengan judul "Analisis Konsumsi Bahan Bakar *Dump Truck* pada Penambangan Batu Andesit PT Harmak Indonesia, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta". Menganalisa tingginya konsumsi bahan bakar dari pengaruh *grade* jalan, waktu edar, *rimpull*, jarak angkut dan daya unit. Dengan melakukan perbaikan pada aspek variabel tersebut didapatkan penurunan jumlah konsumsi bahan bakar, diikuti oleh penurunan biaya operasional. Dari sebelumnya konsumsi bahan bakar Mitsubishi Fuso SHD-X6.6 sebesar 1,402 gallon/jam dengan biaya Rp57.183,00/jam dan Toyota Dyna 130HT sebesar 1,591 gallon/jam dengan biaya Rp64.887,00/jam. Setelah perbaikan konsumsi bahan bakar Mitsubishi Fuso SHD-X6.6 sebesar 1,371 gallon/jam dengan biaya Rp55.912,00/jam dan Toyota Dyna 130HT sebesar 1,559 gallon/jam dengan biaya Rp63.583,00/jam.

Penelitian oleh (Golbasi, O., Kina, E. 2021) dengan judul "*Haul truck fuel consumption modeling under random operating conditions: A case study*", dengan metode pendekatan yang digunakan melibatkan algoritma simulasi kejadian diskrit untuk mengaitkan parameter operasional dengan perilaku konsumsi bahan bakar berdasarkan waktu dan lokasi. Maka diperoleh data bahwa curah hujan dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar sebesar 15–25%. Selain itu, truk berkapasitas serupa yang beroperasi di tambang tanah liat terbukti mengonsumsi bahan bakar 40% lebih banyak dalam kondisi bermuatan dibandingkan truk tambang batu kapur, disebabkan oleh frekuensi tanjakan yang lebih tinggi. Emisi karbon dioksida truk tambang tanah liat tercatat sebesar 1,48 kg/km per siklus produksi, yaitu 17,5% lebih tinggi dibandingkan truk di tambang batu kapur.

Penelitian oleh (Alamdari, S., Basiri, M, A., Mousavi, A., Soofastaei, A. 2022) dengan judul "*Application of Machine Learning Techniques to Predict Haul Truck Fuel Consumption in Open-Pit Mines*", pada tambang bijih besi terbuka di Provinsi Yazd, Iran. Melalui pendekatan langkah pemodelan dan evaluasi konsumsi bahan bakar diesel truk tambang dengan menerapkan teknik, regresi linier berganda,

random forest, *artificial neural network*, *support vector machine*, dan *k-nearest neighbors*. Dari evaluasi performa model dilakukan melalui koefisien determinasi ( $R^2$ ), galat kuadrat rata-rata (RMSE), dan galat absolut rata-rata (MAE). Hasil menunjukkan bahwa model jaringan saraf tiruan memiliki akurasi tertinggi ( $R^2 = 0,903$ ; RMSE = 489,173; MAE = 13,440), sedangkan regresi linier berganda memberikan hasil yang tidak lebih baik dari data diatas.

Penelitian oleh (Hassan, T, H., Sobaih, A, E, E. Salem, A, E., 2021) dengan judul “*Factors Affecting the Rate of Fuel Consumption in Aircrafts*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang paling positif terkait dengan total bahan bakar yang digunakan adalah jarak udara ( $r^2 = 0,86$ ,  $p < 0,01$ ), jarak darat ( $r^2 = 0,78$ ,  $p < 0,01$ ), TOW ( $r^2 = 0,68$ ,  $p < 0,01$ ), dan waktu terbang ( $r^2 = 0,68$ ,  $p < 0,01$ ). Ada juga hubungan positif yang kuat antara aliran bahan bakar rata-rata (FF) dan TOW aktual ( $r^2 = 0,74$ ,  $p < 0,01$ ) serta ZFW ( $r^2 = 0,61$ ,  $p < 0,01$ ). Hasil regresi linier berganda menunjukkan bahwa prediktor paling signifikan dari total konsumsi bahan bakar adalah ZFW aktual ( $p < 0,01$ ), TOW aktual ( $p < 0,01$ ), dan rata-rata FF aktual ( $p < 0,05$ ).

Penelitian oleh (Deni, M., Latifah, R. 2021) dengan judul “Prediksi Pengisian BBM HSD dengan Metode Multiple Linier Regression”. Mengkaji kebutuhan pengisian bahan bakar pada lokomotif berbahan bakar jenis Bahan Bakar Mesin High Speed Diesel (BBM HSD), dengan variabel kilometer tempuh, waktu tempuh dan berat kereta api. Dari hasil pengujian diketahui nilai korelasinya sebesar 0,977 (97,7%) dengan rata-rata kesalahan prediksi saat dihitung menggunakan MSE dan MAPE adalah 7.874 dan 0,05 (5%). Sehingga dapat dikatakan bahwa kesalahan prediksi volume pengisian BBM HSD adalah cukup rendah.

Penelitian oleh (Tribuana, E., Megasukma, Y., Ericson., Adhitya, B. 2024) dengan judul “Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Kemiringan Jalan Angkut Overburden: Studi Kasus PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal”. Menganalisa penyebab pengangkutan *overburden* menggunakan metode *trucking* yang mencapai 40% dari total biaya penambangan dan rerata konsumsi bahan bakar alat angkut yang melebihi standar. Melalui pendekatan regresi linier, faktor yang kuat memengaruhi konsumsi bahan bahan bakar adalah kemiringan jalan dengan nilai

koefisien determinasi sebesar 0,99. Terdapat 4 ruang jalan yang menyebabkan tingkat konsumsi bahan bakar melebihi rencana dengan rerata 13,7 l/jam. Perbaikan terhadap kemiringan jalan yang melebihi 8%, diperoleh prediksi konsumsi bahan bakar menjadi 13,28 l/jam. Penghematan penggunaan bahan bakar unit *dump truck* yang dihasilkan sebesar 0,4 l/jam (120 l/bulan).

Penelitian oleh (Zhu, D., Chen, Y., Huang, Z., Ke, X., Yang, K. 2023) dengan judul “*An Optimal Energy Consumption Scheduling Algorithm For Dump Trucks in Mines*”. Mengoptimalkan pengaturan pergerakan unit dengan jarak dan kecepatan sebagai variabel penelitian. Optimalisasi satu unit truk angkut menghasilkan nilai *specific fuel consumption* minimum sebesar 80,2 g/t dan penghematan bahan bakar maksimum sebesar 24,5%. Titik operasi optimal untuk konsumsi bahan bakar dicapai pada kecepatan 4,53 m/s. Optimalisasi kendaraan di area pertambangan menghasilkan penurunan nilai SFC secara keseluruhan menjadi 99,9 g/t. Pendekatan optimalisasi ini memberikan penghematan bahan bakar yang lebih besar dibandingkan dengan praktik industri saat ini. Selain itu, jarak tempuh yang lebih pendek berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi bahan bakar.

Penelitian oleh (Chen, G, R., Liao, T, W., Hsieh, C, C., Barman, J., Huang, C, Y., Kuo, C, F, K. 2025) dengan judul “*Using The Taguchi Method and Grey Relational Analysis To Optimize The Parameter Design of Flat-Plate Collectors With Nanofluids, and Phase Change Materials in an Integrated Solar Water Heating System*”. Menggunakan metode Taguchi dalam optimalisasi efisiensi penyimpanan termal pada pemanas air tenaga surya. Diperoleh hasil konfigurasi efisiensi penyimpanan termal optimal sebesar 94,2% dan waktu retensi panas sebesar 31,7 jam. Parameter optimal tersebut meliputi penggunaan material PCM, volume PCM 20%, 14 tabung PCM, nanofluida CuO sebagai fluida kerja, laju aliran massa 0,02 kg/s, 9 tabung kolektor, pelat kolektor tembaga, sudut kemiringan 22,4°, dan sudut azimuth 0° menghadap selatan. Efisiensi penyimpanan termal meningkat sebesar 28% dan memperpanjang waktu retensi panas sebesar 14,6 jam.

Penelitian oleh (Chen, W, H., Wang, J, S., Chang, M, S., Mutuku, J, K., Hoang, A, T. 2021) dengan judul “*Efficiency Improvement of A Vertical-Axis Wind Turbine Using A Deflector Optimized By Taguchi Approach with Modified Additive*

*Method*”. Merancang deflektor untuk meningkatkan kinerja turbin angin sumbu vertikal (VAWT) tiga bilah melalui metode taguchi dan analisis ANOVA. Hasil prediksi koefisien daya rata-rata ( $C_p$ ) turbin tanpa deflektor adalah 0,46. Dengan penggunaan MAM, desain deflektor mampu meningkatkan nilai  $C_p$  hingga 0,55 (20%), sementara deflektor mencapai 0,54 (peningkatan 17%). Jarak antara pusat turbin dan posisi deflektor merupakan faktor paling signifikan dalam memengaruhi kinerja turbin. Temuan dari ANOVA konsisten dengan hasil metode Taguchi dan membuktikan bahwa penggunaan deflektor yang dirancang dengan tepat dapat secara efektif meningkatkan efisiensi VAWT.

Penelitian oleh (Naufal, M. 2022) dengan judul “Optimasi Multi Faktor pada Material Karet Silikon Terhadap Gesekan dan Aus Menggunakan Metode Taguchi”. Mencari jenis material terbaik untuk telapak kaki palsu agar tidak licin saat digunakan oleh penyandang disabilitas pada kaki palsu. Pengujian tribometer hasil optimum dengan nilai keausan yang kecil yaitu dengan komposisi jenis silikon RTV M4503, bertekstur lingkaran, katalis 4%, dan *talc* 60%, sedangkan hasil pengujian gaya gesek yang mempunyai nilai paling optimum adalah jenis silikon RTV 48, bertekstur halus, katalis 2%, dan *talc powder* 60%. *Talc coating* dapat mengurangi nilai keausan dan mengurangi gaya gesek. Penggunaan *talc coating* memiliki nilai tren menurun pada pengujian kuat tarik dan kuat sobek, namun nilai kekerasannya meningkat dibanding dengan penggunaan *talc powder* biasa.

Penelitian oleh (Nicolaus., Lubis, G .S., Ivanto, M. 2024) “Studi Pengaruh dan Optimasi Sistem Transmisi pada Kendaraan Prototype Kelas Motor Listrik Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) Menggunakan Metode Taguchi”. Mendapatkan titik optimal antara kecepatan dengan kebutuhan energi yang hemat pada kendaraan kontes mobil hemat energi. Berdasarkan hasil kecepatan, kombinasi optimal dinyatakan dengan A2 (rasio *sprocket* 27:43), B1 (jarak transmisi 40 cm), C2 (berat pengemudi 55 kg), dan D3 (kecepatan putar motor 450 rpm). Analisis ANOVA mengkonfirmasi bahwa faktor B dan C memiliki pengaruh yang lebih besar sesuai dengan urutan ranking 1 dan 2, diikuti oleh faktor D dan A pada urutan 3 dan 4.

Penelitian oleh (Azmi., *et al.* 2023) dengan judul “Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan Menggunakan

Metode Taguchi”. Penelitian dilakukan di PT X yang berlokasi di area kilang Pertamina RU II Dumai, untuk mengetahui faktor-faktor yang berkontribusi dan parameter optimum pada pengelasan SMAW. Hasil dari penelitian menyatakan bahwa faktor arus berkontribusi sebesar 59%, jarak busur 33%, faktor kecepatan pengelasan berkontribusi 2% dan faktor residual (error) sebesar 6%. Sementara itu penghitungan S/N Ratio menunjukkan bahwa faktor-faktor optimum yang diperoleh adalah besar arus 90 A, diikuti faktor kecepatan pengelasan 85 mm/min dan jarak busur sebesar 2 mm.

Penelitian oleh (Wahyudi, Y., Harito, C. 2023) “Optimalisasi Teknik *Less Water Dyeing* Program pada Kain *Polyester* dengan Pendekatan Metode Taguchi Untuk Penghematan Air Dalam Industri Tekstil”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan teknik *less water dyeing program* pada kain *polyester* dengan menggunakan metode Taguchi, dengan fokus utama pada efisiensi penggunaan air dalam proses pencelupan, penghematan biaya produksi, dan pengurangan dampak negatif lingkungan akibat proses pencelupan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa penggunaan teknik *less water dyeing* mampu menghemat air hingga 60%, dengan peningkatan hingga 72.4% ketika diterapkan metode optimalisasi Taguchi dibandingkan dengan pencelupan konvensional, penghematan air dapat mencapai sebesar Rp666.717.120 per tahun.

Penelitian oleh (Firdaus, R. S. 2023) dengan judul “Optimasi Formulasi Karet Alam Sebagai Material Kaki Palsu Menggunakan Metode Taguchi Orthogonal Array L4”, menggunakan karakteristik *smaller is better* dan *larger is better*. Penelitian ini menggunakan variasi kadar *filler* CaCO<sub>3</sub>, sulfur dan waktu vulkanisir untuk membuat formulasi karet alam yang optimum dengan memanfaatkan model desain eksperimen Taguchi. Hasil optimum untuk massa aus yaitu dengan komposisi kadar CaCO<sub>3</sub> 30%, sulfur 5% dan waktu vulkanisir selama 30 menit. Sedangkan untuk optimasi gaya gesek komposisi terbaik yaitu kadar CaCO<sub>3</sub> 30%, sulfur 5% dan waktu vulkanisir selama 40 menit.

Penelitian oleh (Kurniawan, B. W., Rachman, F., Kharisma, I. A. 2023) dengan judul “Penerapan Metode Taguchi Untuk Optimasi Setting Parameter *Sandblasting* Terhadap Kerekatan Cat”. Penelitian ini membahas tentang optimasi hasil

*sandblasting* untuk mengetahui pengaruh setting parameter yang tepat untuk menghasilkan nilai kerekatan cat yang optimal pada material baja A36. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen metode Taguchi dengan matriks *orthogonal*  $L_9(3^4)$  sebanyak tiga kali replikasi. Dari hasil eksperimen, parameter optimal yang dihasilkan yaitu tekanan penyemprotan 6 bar, waktu penyemprotan 30 detik, dan ukuran material abrasif dengan *mesh* 15. Berdasarkan penghitungan *analysis of variance* (ANOVA), persentase kontribusi tekanan penyemprotan sebesar 70.10%, waktu penyemprotan sebesar 1.83%, dan ukuran material abrasif sebesar 25.42%.

Penelitian oleh (Saputra, B. R. 2022) dengan judul “Perancangan Parameter dengan Metode Taguchi Untuk Mengoptimasi Proses *Blow Machine* Pada PT Sanpak Unggul”, menggunakan karakteristik *smaller is better*. Mengkaji tentang pengendalian produk cacat pada proses produksi botol kemasan seminimal mungkin. Dari analisa *main effect* didapat persamaan hasil rancangan parameter settingan mesin yaitu pada karakteristik kualitas bahwa rancangan usulan untuk eksperimen Taguchi adalah A level 1, B level 3, C level 1, dan D level 3. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa faktor yang memiliki pengaruh terbesar hingga terkecil terhadap karakteristik mutu pada mesin *blow machine*, yaitu kecepatan *blowpin* pada ranking ke-1 (53,09%), jarak *cutter* terhadap *mould* (milimeter) pada ranking ke-2 (21,15%), temperatur suhu mesin (celius) pada ranking ke-3 (4,07%), dan jarak *die* terhadap *cutter* (mm) pada ranking ke-4 (-21,67%). Sehingga parameter kecepatan *blowpin machine* (53,09%) dinyatakan memiliki pengaruh cukup besar terhadap kualitas proses produksi.

Penelitian oleh (Miftah, N. A., Atmaja, D. S. E., Oktafiani, A. 2022) dengan judul “Optimasi Multi-Objektif Proses Pemesinan *Milling* dengan Metode Taguchi Kolaborasi *Grey Relational Analysis*”, menggunakan karakteristik *smaller is better*. Mengkaji tentang optimasi multi-objektif untuk meminimalkan kekasaran permukaan dan memaksimalkan laju penghilangan material (MRR) pada paduan aluminium 6061 T6. Didapatkan hasil kombinasi parameter pemesinan *milling* yang menghasilkan kekasaran permukaan dan laju pembuangan material yang optimum *spindle speed* 600 rpm, *feed rate* 50 mm/min, dan *depth of cut* 0,7 mm.

Dengan laju *spindle speed* yang tinggi, laju *feed rate* yang rendah, kedalaman *depth of cut* yang rendah.

Penelitian oleh (Amborowati, C., Hidayat, A., Sawitri, D. R. 2025) dengan judul “Optimalisasi Ekstraksi Zat Warna Alami Dari Kulit Alpukat (*Persea Americana Mill*) Menggunakan Metode Taguchi”, menggunakan karakteristik *smaller is better*. Mengkaji optimalisasi kondisi proses dan mengevaluasi pengaruh interaksi faktor-faktor yang berpengaruh pada proses ekstraksi pewarna alami dari kulit alpukat dengan menggunakan metode Taguchi. Dari hasil percobaan diperoleh *yield* optimum pada daya ultrasonik sebesar 75%, rasio bahan dan pelarut sebesar 1:04, dan waktu ekstraksi selama 60 menit. Konsentrasi tanin optimum diperoleh pada rasio bahan dan pelarut sebesar 1:12, waktu ekstraksi selama 35 menit, dan daya ultrasonik sebesar 25%.

Penelitian oleh (Arizky, R., Silviana, N. A., Siregar, N. A. 2022) dengan judul “Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Taguchi Di PT. XYZ”, menggunakan karakteristik *smaller is better*. Mengoptimasi produk cacat pada produk roti kacang yang memiliki warna coklat gelap atau hitam akibat inkonsistensi proses pemanggangan yang tidak sempurna. Didapatkan setting level optimum temperatur suhu pemanggangan sebesar 180°C pada level 2 dan waktu pemanggangan selama 14 menit pada level 1. Hasil percobaan metode Taguchi ke eksperimen menunjukkan bahwa rata-rata dari rata-rata yang diprediksi  $35,28 \leq \mu_{prediksi} \leq 37,28$  tumpang tindih dengan interval kepercayaan dari eksperimen konfirmasi  $38,41 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 40,59$ .

Penelitian oleh (Phanpheta, S., Bangphanb, S. 2021) dengan judul “*Application of Taguchi Method In Optimization of Process Parameters For Paddy Husker in Peeling Machine Production Process*”. Menggunakan pendekatan metode Taguchi untuk meningkatkan kinerja dan mengoptimalkan parameter proses produksi pada mesin pengupas padi. Model statistik yang dihasilkan menunjukkan tingkat koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 99,99% dan deviasi standar 0,0035189, dengan nilai prediksi MRR sebesar 0,0473 gram yang berada dalam interval kepercayaan 0,0432–0,0514 gram. Hasil ini konsisten dengan data eksperimental, yakni 0,034 gram MRR, menunjukkan kesesuaian model.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

| NO | JUDUL                                                                                                             | PENULIS                                                      | TAHUN | JENIS PENELITIAN | INSTRUMEN | HASIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Analisis <i>Fuel Ratio</i> pada Project Penambangan di Pit 1 PT Cahaya Riau Mandiri Jobsite PT Duta Alam Sumatera | 1. Yunita<br>2. Edwin Harsiga                                | 2023  | Deskriptif       | Observasi | <i>Fuel ratio plan fleet</i> 1 sebesar 0,17 l/bcm, <i>fleet</i> 2 sebesar 0,16 l/ton, <i>fleet</i> 3 sebesar 0,14 l/bcm, <i>fleet</i> 4 sebesar 0,17 l/bcm. <i>Fuel ratio</i> aktual pada <i>fleet</i> 1 sebesar 0,18 l/bcm, <i>fleet</i> 2 sebesar 0,20 l/ton, <i>fleet</i> 3 sebesar 0,16 l/bcm dan <i>fleet</i> 4 sebesar 0,18 l/bcm dan selisih <i>fuel ratio</i> pada <i>fleet</i> 1 0,01 l/bcm, pada <i>fleet</i> 2 sebesar 0,04 l/ton, pada <i>fleet</i> 3 0,02 l/bcm dan pada <i>fleet</i> 4 0,01 l/bcm. |
| 2  | Optimalisasi <i>Fuel Ratio</i> Alat Gali Muat dan Alat Angkut PT Borneo Alam Semesta                              | 1. Audy Dhata Ramadhani<br>2. Adip Mustofa<br>3. Sari Melati | 2022  | Deskriptif       | Observasi | Data awal <i>fuel ratio</i> alat gali muat Komatsu PC300 yaitu 0,25 Liter/bcm, alat angkut Nissan CWB45 yaitu 0,47 liter/bcm. <i>Fuel ratio</i> alat gali muat turun menjadi 0,22-0,28 liter/bcm dan <i>fuel ratio</i> alat angkut turun menjadi 0,41- 0,48 liter/bcm.                                                                                                                                                                                                                                           |

|   |                                                                                                                                                                                       |                                                                                    |      |             |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | Optimasi Konsumsi <i>Fuel Dump Truck</i> Terhadap Pengaruh <i>Grade</i> Jalan pada Aktivitas Penambangan Pada PT Pamapersada Nusantara Kecamatan Sangatta Utara Kabupaten Kutai Timur | 1. Mushawir<br>2. Harjuni Hasan<br>3. Henny Magdalena                              | 2022 | Deskriptif  | Observasi Eksperimen | Konsumsi bahan bakar saat bermuatan di jalan <i>grade</i> 2% sebesar 0,45 liter, <i>grade</i> 5% sebesar 0,77 liter, <i>grade</i> 6% sebesar 0,89 liter, <i>grade</i> 8% sebesar 1,09 liter. Konsumsi bahan bakar saat bermuatan di jalan <i>grade</i> 2% 0,19 liter, <i>grade</i> 5% sebesar 0,35 liter, <i>grade</i> 6% sebesar 0,4 liter, <i>grade</i> 8% sebesar 0,47 liter dan <i>grade</i> 9% sebesar 0,52 liter. |
| 4 | Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD QUESTER CWE 370 dalam Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel                                                                                  | 1. Nurkhamim<br>2. Hendra R. Adha<br>3. Tedy A. C<br>4. Kresno<br>5. Inmarlinianto | 2023 | Deskriptif  | Observasi Eksperimen | Setelah perbaikan geometri kemiringan jalan konsumsi bahan bakar menurun dan produktivitas meningkat, jumlah konsumsi bahan bakar sebelumnya 13,63 liter/jam menjadi 12,45 l/jam.                                                                                                                                                                                                                                       |
| 5 | <i>Fuel Consumption In Mining Industry Using Partial Least Squares Structural Equation Modeling Approach</i>                                                                          | 1. M Y N Attari<br>2. T F Miandoab<br>3. Babak Ejlali<br>4. A E Torkayesh          | 2021 | Kuantitatif | Observasi            | Konsumsi bahan bakar secara signifikan dipengaruhi oleh beban besar. Maka, setiap perbaikan pada <i>dump truck</i> dapat mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan.                                                                                                                                                                                                                                             |
| 6 | <i>Fuel Consumption of The Belaz Dump Trucks on an Example of The Open Pit Turija of The Brown Coal Mine Banovići</i> ”.                                                              | 1. Jasmin Jamaković<br>2. Sunčica Mašić                                            | 2021 | Kuantitatif | Observasi            | Mengangkut beban besar memerlukan konsumsi bahan bakar lebih tinggi. Faktor seperti kualitas jalan, cuaca, tambahan <i>attachment</i> , perubahan rute, kemiringan, teknologi yang tidak memadai, dan kondisi area kerja yang buruk menambah konsumsi bahan bakar pada unit <i>Belaz dump truck</i> .                                                                                                                   |
| 7 | Analisis Konsumsi Bahan Bakar <i>Dump Truck</i> pada Penambangan Batu Andesit PT Harmak Indonesia, Desa                                                                               | Ilham Rifa’i                                                                       | 2021 | Deskriptif  | Observasi Eksperimen | Sebelum diperbaiki, konsumsi bahan bakar Mitsubishi Fuso SHD-X6.6 sebesar 1,402 gallon/jam (Rp57.183 /jam) dan Toyota Dyna 130HT sebesar 1,591 gallon/jam                                                                                                                                                                                                                                                               |

|   |                                                                                                            |                                                                                         |      |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta”.                           |                                                                                         |      |             |                          | (Rp64.887/jam). Setelah perbaikan, konsumsi turun menjadi 1,371 gallon/jam (Rp55.912/jam) untuk Fuso dan 1,559 gallon/jam (Rp63.583/jam) untuk Dyna.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 8 | <i>Haul truck fuel consumption modeling under random operating conditions: A case study</i>                | 1. Onur Golbasi<br>2. Elif Kina                                                         | 2021 | Deskriptif  | Observasi Eksperimen     | Curah hujan dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar sebesar 15–25%. Truk yang beroperasi ditambang tanah liat terbukti mengonsumsi bahan bakar 40% lebih banyak dibanding truk tambang batu kapur, disebabkan oleh frekuensi tanjakan yang lebih tinggi. Emisi karbon dioksida truk tambang tanah liat sebesar 1,48 kg/km per siklus produksi, yaitu 17,5% lebih tinggi dibandingkan truk di tambang batu kapur. |
| 9 | <i>Application of Machine Learning Techniques to Predict Haul Truck Fuel Consumption in Open-Pit Mines</i> | 1. Saber Alamdari<br>2. Mohammad Hossein Basiri<br>3. Amin Mousavi<br>4. Ali Soofastaei | 2022 | Kuantitatif | Regresi Linier Sederhana | Evaluasi performa model dilakukan melalui koefisien determinasi ( $R^2$ ), galat kuadrat rata-rata (RMSE), dan galat absolut rata-rata (MAE). Hasil menunjukkan bahwa model jaringan saraf tiruan memiliki akurasi tertinggi ( $R^2 = 0,903$ ; RMSE = 489,173; MAE = 13,440), sedangkan regresi linier berganda memberikan hasil terburuk.                                                                       |

|    |                                                                                                                                    |                                                                                                                                             |      |             |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | <i>Factors Affecting the Rate of Fuel Consumption in Aircrafts</i>                                                                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Thowayeb H. Hassan</li> <li>2. Abu Elnasr E. Sobaih</li> <li>3. Amany E. Salem</li> </ol>         | 2021 | Kuantitatif | Regresi Linier Sederhana | Faktor yang paling positif terkait dengan total bahan bakar yang digunakan adalah jarak udara ( $r^2 = 0,86$ , $p < 0,01$ ), jarak darat ( $r^2 = 0,78$ , $p < 0,01$ ), TOW ( $r^2 = 0,68$ , $p < 0,01$ ), dan waktu terbang ( $r^2 = 0,68$ , $p < 0,01$ ). Terdapat hubungan positif antara aliran bahan bakar rata-rata (FF) dan TOW aktual ( $r^2 = 0,74$ , $p < 0,01$ ) serta ZFW ( $r^2 = 0,61$ , $p < 0,01$ ). Hasil regresi linier berganda, prediktor paling signifikan dari total konsumsi bahan bakar adalah ZFW aktual ( $p < 0,01$ ), TOW aktual ( $p < 0,01$ ), dan rata-rata FF aktual ( $p < 0,05$ ). |
| 11 | Prediksi Pengisian BBM HSD dengan Metode <i>Multiple Linier Regression</i>                                                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muhammad Deni</li> <li>2. Retnani Latifah</li> </ol>                                              | 2021 | Kuantitatif | Regresi Linier Sederhana | Dari pengujian nilai korelasinya 0,977 (97,7%) rata-rata kesalahan prediksi saat dihitung dengan MSE dan MAPE adalah 7.874 dan 0,05 (5%). Sehingga kesalahan prediksi volume pengisian BBM HSD adalah cukup rendah.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 12 | Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Kemiringan Jalan Angkut <i>Overburden</i> . Studi Kasus PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evid Tribuana</li> <li>2. Yosa Megasukma</li> <li>3. Ericson</li> <li>4. Bagus Adhitya</li> </ol> | 2024 | Kuantitatif | Regresi Linier Sederhana | Kemiringan jalan berpengaruh besar terhadap konsumsi bahan bakar dengan koefisien determinasi 0,99. Empat ruas jalan menyebabkan konsumsi melebihi rencana, rata-rata 13,7 l/jam. Setelah perbaikan konsumsi turun menjadi 13,28 l/jam, menghemat 0,4 l/jam atau 120 l/bulan.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 13 | <i>An Optimal Energy Consumption Scheduling</i>                                                                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desheng Zhu</li> <li>2. Yunchao Chen</li> <li>3. Zhipeng Huang</li> </ol>                         | 2023 | Deskriptif  | Observasi Eksperimen     | Optimalisasi satu unit truk angkut menghasilkan nilai <i>specific fuel consumption</i> minimum sebesar 80,2 g/t dan penghematan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|    |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                       |      |            |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <i>Algorithm For Dump Trucks In Mines</i>                                                                                                                                                                      | 4. Xiaotian Ke<br>5. Kehu Yang                                                                                                        |      |            |                | bahan bakar maksimum sebesar 24,5%. Titik operasi optimal untuk konsumsi bahan bakar dicapai pada kecepatan 4,53 m/s. Optimalisasi unit diarea pertambangan menghasilkan penurunan nilai SFC menjadi 99,9 g/t. Optimalisasi dan jarak tempuh pendek mampu menghemat bahan bakar yang lebih besar dibandingkan dengan praktik industri saat ini.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 14 | <i>Using The Taguchi Method and Grey Relational Analysis To Optimize The Parameter Design of Flat-Plate Collectors With Nanofluids, and Phase Change Materials In An Integrated Solar Water Heating System</i> | 1. Guan-Rong Chen<br>2. Ting-Wei Liao<br>3. Chien-Chun Hsieh<br>4. Jagadish Barman<br>5. Chao-Yang Huang<br>6. Chung-Feng Jeffrey Kuo | 2025 | Eksperimen | Metode Taguchi | Dengan 36 eksperimen, pada sembilan faktor kontrol dipilih: material PCM, volume PCM, jumlah tabung PCM, fluida kerja, laju aliran massa, jumlah tabung kolektor, material tabung kolektor, sudut kemiringan, dan sudut azimuth. Diperoleh konfigurasi efisiensi optimal penyimpanan termal sebesar 94,2% dan waktu retensi panas sebesar 31,7 jam. Meliputi penggunaan material PCM, volume PCM 20%, 14 tabung PCM, nanofluida CuO sebagai fluida kerja, laju aliran massa 0,02 kg/s, 9 tabung kolektor, pelat kolektor tembaga, sudut kemiringan 22,4°, dan sudut azimuth 0° menghadap selatan. Optimasi ini meningkatkan efisiensi penyimpanan termal sebesar 28% dan memperpanjang waktu retensi panas sebesar 14,6 jam. |

|    |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                       |      |            |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 | <i>Efficiency Improvement Of A Vertical-Axis Wind Turbine Using A Deflector Optimized By Taguchi Approach With Modified Additive Method</i> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wei-Hsin Chen</li> <li>2. Jhih-Syun Wang</li> <li>3. Min-Hsing Chang</li> <li>4. Justus Kavita Mutuku</li> <li>5. Anh Tuan Hoang</li> </ol> | 2021 | Eksperimen | Metode Taguchi | Perancangan deflektor untuk meningkatkan kinerja turbin angin sumbu vertikal (VAWT) tiga bilah melalui metode taguchi dan analisis ANOVA. Hasil prediksi koefisien daya rata-rata ( $C_p$ ) turbin tanpa deflektor adalah 0,46. Dengan penggunaan MAM, desain deflektor mampu meningkatkan nilai $C_p$ hingga 0,55 (20%), sementara deflektor mencapai 0,54 (peningkatan 17%). Jarak antara pusat turbin dan posisi deflektor merupakan faktor paling signifikan dalam memengaruhi kinerja turbin. Data ANOVA konsisten dengan hasil metode Taguchi dan membuktikan bahwa penggunaan deflektor yang dirancang dengan tepat dapat secara c. |
| 16 | Optimasi Multi Faktor pada Material Karet Silikon Terhadap Gesekan dan Aus Menggunakan Metode Taguchi                                       | Muhammad Naufal                                                                                                                                                                       | 2022 | Eksperimen | Metode Taguchi | Pengujian tribometer yang optimum nilai keausan kecil dengan komposisi silikon RTV M4503, bertekstur lingkaran, katalis 4%, dan <i>talc</i> 60%. Pengujian gaya gesek yang optimum jenis silikon RTV 48, bertekstur halus, katalis 2%, dan <i>talc powder</i> 60%. <i>Talc coating</i> mengurangi nilai keausan dan mengurangi gaya gesek, penggunaan <i>talc coating</i> tren nilainya menurun pada pengujian kuat tarik dan kuat sobek, tapi nilai kekerasan meningkat dibanding penggunaan <i>talc powder</i> .                                                                                                                         |

|    |                                                                                                                                                               |                                                                         |      |            |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------|------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 17 | Studi Pengaruh dan Optimasi Sistem Transmisi pada Kendaraan <i>Prototype</i> Kelas Motor Listrik Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) Menggunakan Metode Taguchi  | 1. Nicolaus<br>2. Gita Suryani Lubis<br>3. Muhammad Ivant               | 2024 | Eksperimen | Metode Taguchi | Kombinasi kecepatan optimal faktor A2 (rasio <i>sprocket</i> 27:43), B1 (jarak transmisi 40 cm), C2 (berat pengemudi 55 kg), dan D3 (kecepatan putar motor 450 rpm). Dari analisis ANOVA faktor B dan C memiliki pengaruh lebih besar, dengan urutan 1 dan 2, faktor D dan A pada urutan 3 dan 4. |
| 18 | Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan <i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW) dengan Menggunakan Metode Taguch                                            | 1. Azmi<br>2. Rika Ampuh Adiguna<br>3. Jonrinaldi<br>4. Ary Ramadhianto | 2023 | Eksperimen | Metode Taguchi | Faktor arus berkontribusi sebesar 59%, jarak busur 33%, faktor kecepatan pengelasan berkontribusi 2% dan faktor residual 6%. Dari <i>S/N Ratio</i> terlihat faktor optimum terbesar arus 90 A, diikuti faktor kecepatan pengelasan 85 mm/min dan jarak busur 2 mm.                                |
| 19 | Optimalisasi Teknik <i>Less Water Dyeing</i> Program pada Kain <i>Polyester</i> dengan Pendekatan Metode Taguchi Untuk Penghematan Air dalam Industri Tekstil | 1. Yohan Wahyudi<br>2. Christian Harito                                 | 2023 | Eksperimen | Metode Taguchi | Penggunaan teknik <i>less water dyeing</i> mampu menghemat air hingga 60%, meningkat 72.4%, dibanding celupan konvensional, air yang dihemat mencapai Rp666.717.120/tahun tahun.                                                                                                                  |
| 20 | Optimasi Formulasi Karet Alam Sebagai Material Kaki Palsu Menggunakan Metode Taguchi Orthogonal Array L4                                                      | Rasendriya Saifullah Firdaus                                            | 2023 | Eksperimen | Metode Taguchi | Hasil optimum massa aus dengan komposisi kadar CaCO <sub>3</sub> 30%, sulfur 5% dan waktu vulkanisir 30 menit. Optimasi gaya gesek komposisi terbaik yaitu kadar CaCO <sub>3</sub> 30%, sulfur 5% dan waktu vulkanisir selama 40 menit.                                                           |

|    |                                                                                                                          |                                                                            |      |            |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 | Penerapan Metode Taguchi Untuk Optimasi <i>Setting</i> Parameter <i>Sandblasting</i> Terhadap Kerekatan Cat              | 1. Bayu Wiro Kurniawan<br>2. Farizi Rachman<br>3. Isna Aulia Kharisma      | 2023 | Eksperimen | Metode Taguchi | Tekanan penyemprotan 6 bar, waktu penyemprotan 30 detik, dan ukuran material abrasif dengan <i>mesh</i> 15. Sesuai ANOVA, persentase kontribusi tekanan penyemprotan 70.10%, waktu penyemprotan 1.83%, dan ukuran material abrasif 25.42%.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 22 | Perancangan Parameter dengan Metode Taguchi Untuk Mengoptimasi Proses <i>Blow Machine</i> Pada PT Sanpak Unggul          | Boksic Rangga Saputra                                                      | 2022 | Eksperimen | Metode Taguchi | Rancangan parameter setingan mesin pada karakteristik kualitas adalah A level 1, B level 3, C level 1, dan D level 3. Karakteristik yang berpengaruh (besar ke kecil) mutu, yaitu kecepatan <i>blowpin</i> ranking 1 (53,09%), jarak <i>cutter</i> terhadap mould (mm) ranking 2 (21,15%), suhu mesin (celcius) ranking ke-3 (4,07%), dan jarak <i>die</i> terhadap <i>cutter</i> (mm) ranking 4 (-21,67%). Parameter kecepatan <i>blowpin machine</i> (53,09%) memiliki pengaruh besar terhadap kualitas proses produksi. |
| 23 | Optimasi Multi-Objektif Proses Pemesinan <i>Milling</i> dengan Metode Taguchi Kolaborasi <i>Grey Relational Analysis</i> | 1. Nadila Attin Miftah<br>2. Denny Sukma Eka<br>3. Atmaja Ayudita Oktafian | 2022 | Eksperimen | Metode Taguchi | Kekasaran permukaan dan laju pembuangan material yang optimum <i>spindle speed</i> 600 rpm (setting tinggi), feed rate 50 mm/min (setting rendah), dan <i>depth of cut</i> 0,7 mm (setting rendah).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 24 | Optimalisasi Ekstraksi Zat Warna Alami Dari Kulit Alpukat (Percea Americana Mill) Menggunakan Metode Taguchi             | 1. Cindi Amborowati<br>2. Arif Hidayah<br>3. Dyah Retno Sawitri            | 2025 | Eksperimen | Metode Taguchi | <i>Yield</i> optimum pada daya ultrasonik 75%, rasio bahan dan pelarut 1:04, dan waktu ekstraksi 60 menit. Konsentrasi tanin optimum pada rasio bahan dan pelarut 1:12, waktu ekstraksi 35 menit, dan daya ultrasonik 25%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

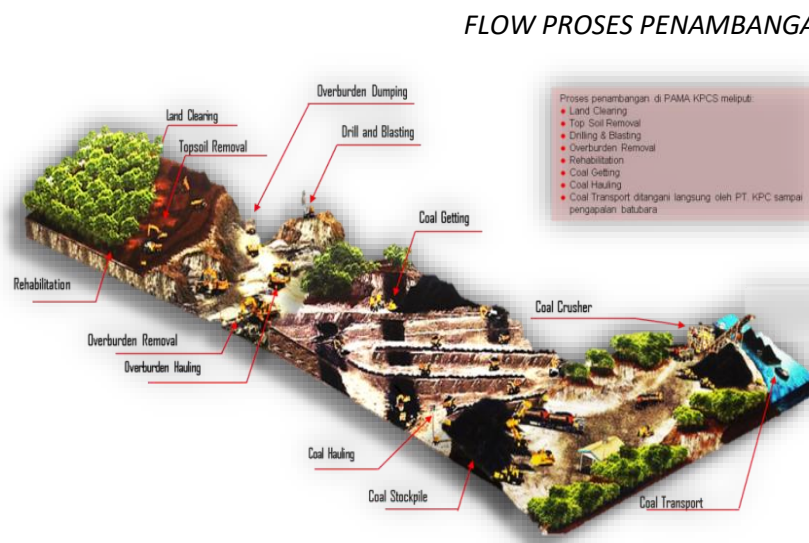
|    |                                                                                                                                   |                                                                   |      |            |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------|------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 25 | Analisis Pengendalian Kualitas Produk dengan Metode Taguchi Di PT. XYZ                                                            | 1. Rifandi Arizky<br>2. Nukhe Andri S<br>3. Ninny Asnidar Siregar | 2022 | Eksperimen | Metode Taguchi | Setting level optimum pemanggangan suhu 180°C dilevel 2 dan waktu 14 menit dilevel 1. Hasilnya nilai rata-rata prediksi $35,28 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 37,28$ dengan interval kepercayaan dari eksperimen konfirmasi $38,41 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 40,59$ .                                                                                                                                                                             |
| 26 | <i>Application of Taguchi Method in Optimization of Process Parameters for Paddy Husker in Peeling Machine Production Process</i> | 1. Suwattana Wong Phanpheta<br>2. Surapong Bangphanb              | 2021 | Eksperimen | Metode Taguchi | Model statistik yang dihasilkan menunjukkan tingkat koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 99,99% dan deviasi standar 0,0035189, dengan nilai prediksi MRR sebesar 0,0473 gram yang berada dalam interval kepercayaan 0,0432–0,0514 gram. Hasil ini konsisten dengan data eksperimental, yakni 0,034 gram MRR, menunjukkan kesesuaian model. Grafik permukaan respons dan plot kontur membantu dalam mengidentifikasi titik optimum dalam ruang parameter |

## 2.2 Kajian Deduktif

Metode deduktif adalah pendekatan pemikiran yang dimulai dari prinsip umum atau premis yang diyakini benar untuk menghasilkan kesimpulan yang spesifik dan logis. Dalam filsafat, deduksi sering digunakan untuk menguji konsistensi logis suatu argumen dan memastikan bahwa kesimpulan yang ditarik valid berdasarkan premis yang telah ditetapkan. Kesimpulan yang ada merupakan sebuah pengetahuan yang didapat dari sebuah penalaran deduktif. Pendekatan ini memiliki sifat sistematis dan logis, yang bertujuan untuk memastikan bahwa kesimpulan yang dihasilkan selaras dengan premis-premis awal (Wanji, M., Firmansyah, M., Gulo, D. R. S. B., Azzahra, Z. N., Mujiatun, S. 2025).

### 2.2.1 Proses penambangan batubara

Mitrabara Adiperdana. (2025) Proses Penambangan, Diambil dari <https://www.mitrabaraadiperdana.co.id/business/mining-process>. Proses kegiatan penambangan batubara pada umumnya terdiri atas beberapa tahapan utama yang dilakukan secara sistematis dan berurutan. Setiap tahapan memiliki peran strategis dalam menjamin kelancaran, keselamatan, serta keberlanjutan operasional pertambangan. Adapun tahapan-tahapannya meliputi:



Gambar 2.1 Alur proses penambangan PT. ABC

a. Pembukaan lokasi dan pembersihan lahan (*land clearing*)

Pembukaan lokasi dan pembersihan lahan (*land clearing*) merupakan tahap awal dalam operasi penambangan batubara, bertujuan untuk mempersiapkan lahan dalam proses penambangan dengan membersihkan area permukaan dari vegetasi maupun dan objek penutup lainnya. Pelaksanaan *land clearing* hanya dapat dilakukan setelah perusahaan pertambangan memperoleh izin resmi dari pemerintah serta telah dinyatakan layak secara lingkungan melalui dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Kegiatan ini menjadi prasyarat penting dalam mewujudkan pertambangan yang legal dan berwawasan lingkungan.

b. Pengupasan *top soil*

Pengupasan *topsoil* merupakan kegiatan pengambilan lapisan tanah paling atas yang kaya akan unsur hara. Lapisan ini memiliki peran penting dalam konteks reklamasi, karena akan digunakan kembali dalam proses rehabilitasi lahan pascatambang. Dalam sistem pertambangan terbuka (*open pit mining*), kegiatan pengupasan *topsoil* dilakukan dengan perlakuan tersendiri sebagai upaya menjaga keberlanjutan lingkungan. Untuk menerapkan praktik pertambangan yang ramah lingkungan dan efisien, perusahaan pertambangan senantiasa berupaya menurunkan nilai stripping ratio melalui perencanaan teknis yang terukur dan sistematis.

c. Pengeboran dan peledakkan

Pengeboran dan peledakan (*drilling and blasting*) merupakan tahapan selanjutnya dalam proses kegiatan penambangan yang bertujuan untuk menghancurkan formasi batuan keras, sehingga mempermudah proses penggalian. Pada tahap pengeboran, lubang-lubang dibuat didalam tanah atau batuan, kemudian diisi dengan bahan peledak. Peledakan dilaksanakan dengan menggunakan teknik yang disesuaikan dengan kondisi geologi setempat guna menghasilkan fragmentasi batuan yang optimal. Proses ini tidak hanya mempercepat kegiatan produksi, tetapi juga meningkatkan efisiensi alat gali dan alat muat dalam proses pengambilan material.

d. Pengupasan lapisan penutup (*overburden removal*)

Setelah tahap pengeboran dan peledakan pada lapisan penutup selesai dilakukan, selanjutnya adalah proses pengupasan lapisan penutup inti. Proses ini bertujuan untuk membuka permukaan tanah penutup, sehingga memungkinkan akses terhadap material tambang utama dan mengangkat material penutup menuju lokasi pembuangan yang telah direncanakan. Tahap ini merupakan salah satu langkah awal yang sangat krusial dalam operasi penambangan karena keberhasilannya menentukan kelancaran proses berikutnya, yaitu penggalian material utama tambang. Dengan selesainya kegiatan pengupasan dan pembersihan lapisan penutup, maka batubara sebagai material inti siap untuk dieksploitasi melalui tahapan *coal getting*. Proses ini menandai peralihan dari tahapan pembukaan lahan menuju tahap produksi dalam kegiatan pertambangan batubara secara keseluruhan.

e. Penambangan batubara (*coal getting*)

*Coal getting* merupakan tahapan dalam rangkaian kegiatan penambangan batubara yang dilakukan setelah proses pengupasan lapisan penutup selesai dilaksanakan. Pada tahap ini, batubara yang telah terbuka kemudian digali dan diangkut menuju area penumpukan (*stockpile*) yang telah ditentukan, berdasarkan jenis atau karakteristik batubara yang dihasilkan. Selanjutnya batubara dimuat ke dalam alat angkut, untuk kemudian dikirimkan menuju pelanggan, sesuai dengan sistem distribusi yang diterapkan oleh perusahaan.

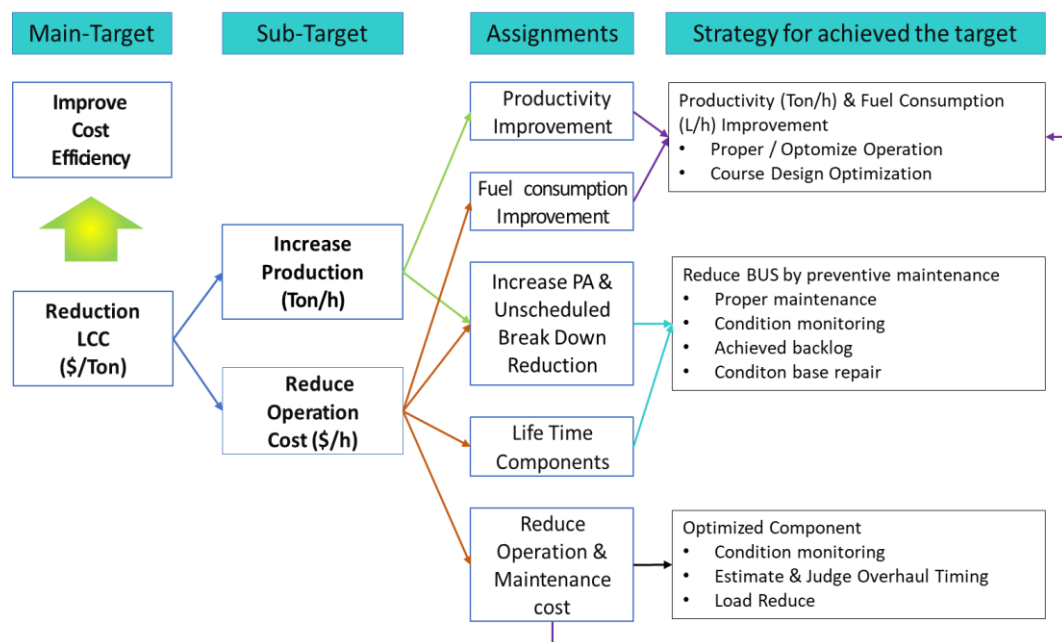
f. Rehabilitasi lahan pasca tambang

Merujuk peraturan Permen ESDM No. 26 Tahun 2018, rehabilitasi lahan pascatambang adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memulihkan kondisi lahan bekas tambang agar mendekati atau menyerupai keadaan semula sebelum kegiatan penambangan dilakukan, atau agar lahan tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk tujuan tertentu secara berkelanjutan. Disisi lain untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan memastikan lahan bekas tambang tetap memiliki nilai ekologis, sosial, dan ekonomis. Kegiatan rehabilitasi meliputi, penataan lahan, penanaman pohon, pengendalian erosi, dan monitoring perkembangan vegetasi serta kualitas lingkungan.

### 2.2.2 Konsep efisiensi biaya operasional unit *dump truck*

Ketidaksesuaian dalam operasi pertambangan dapat berpotensi menyebabkan pembengkakan biaya operasional, menurunnya produktivitas, tidak tercapainya target produksi, hingga terjadinya kerugian finansial. Dalam praktik operasional, struktur biaya dalam kegiatan pertambangan umumnya dibedakan menjadi dua kategori, yaitu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*). Kedua jenis biaya ini memiliki kontribusi yang signifikan terhadap tingkat keberhasilan operasional dan profitabilitas perusahaan. Efisiensi dalam aktivitas operasional sangat bergantung pada kemampuan perusahaan dalam mengelola kedua jenis biaya tersebut secara tepat. Oleh karena itu, rancangan efisiensi operasional yang mempertimbangkan banyak faktor, menjadi aspek krusial dalam upaya menekan biaya operasional dan meningkatkan efisiensi. Implementasi strategi operasional yang tepat akan berkontribusi terhadap pencapaian produksi secara optimal.

Biaya variabel adalah biaya yang jumlah totalnya berubah proporsional dengan perubahan volume kegiatan atau produksi tetapi jumlah per unitnya tidak berubah. Biaya tetap adalah biaya yang jumlah totalnya tidak terpengaruh oleh volume kegiatan dalam kisaran volume tertentu. Berikut konsep dalam rekayasa penurunan biaya operasi.



Gambar 2.2 Diagram konsep efisiensi biaya operasi di pertambangan

### 2.3 Efisiensi Konsumsi Bahan bakar

Dalam dunia industri pertambangan, pemakaian bahan bakar pada alat-alat berat khususnya *dump truck* HD785 menjadi elemen kunci yang memengaruhi efisiensi operasional dan biaya produksi secara keseluruhan. Menghitung dengan cermat konsumsi solar dalam operasional *dump truck* HD785 bukan hanya tentang mengontrol biaya, tetapi juga tentang mengoptimalkan kinerja, memelihara keandalan mesin, dan berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan.

Efisiensi adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan per siklus terhadap suplai jumlah energi per siklus, yang dapat dilepaskan selama pembakaran. Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi bahan bakar melibatkan berbagai aspek, termasuk spesifikasi teknis kendaraan, perilaku pengemudi, dan kondisi lingkungan menunjukkan bahwa keberhasilan efisiensi bahan bakar sangat bergantung pada pengelolaan armada kendaraan, desain aerodinamis, serta pola penggunaan bahan bakar yang konsisten. Sementara itu, pengaruh lingkungan seperti suhu udara dan kelembapan juga berkontribusi pada variabilitas konsumsi bahan bakar (Musliyadi, M., Nurdiawan, O., Dwilestari, G. 2025). Parameter efisiensi bahan bakar pada operasional pertambangan pada unit *dump truck* HD785 adalah sebagai berikut:

#### 1. *Fuel Consumption*

Pada dunia otomotif khususnya unit dioperasikan di lokasi pertambangan, bahan bakar merupakan salah satu kebutuhan primer agar mesin dapat bekerja secara maksimal. Oleh karena itu upaya perbaikan untuk menekan pemakaian bahan bakar dilakukan dengan berbagai cara. Sehingga penghematan dapat berdampak terhadap keberlangsungan operasional alat tetap berjalan sesuai rencana kerja. Salah satu cara melakukan penghematan bahan bakar yaitu dengan meningkatkan efisiensi bahan bakar.

Setiap material yang dapat terbakar untuk melepaskan energi disebut bahan bakar. Bahan bakar yang umumnya digunakan pada sistem pembakaran terbuka (*external combustion*), seperti kerosine, dan solar, tersusun dalam hidrokarbon yang berbe-beda, yang diperoleh dengan proses penyulingan minyak bumi atau minyak mentah.

*Fuel consumption* bakar berarti jumlah bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan untuk menempuh jarak tertentu. Ini adalah indikator penting untuk menilai efisiensi dan efektivitas biaya kendaraan. Semakin sedikit bahan bakar yang digunakan untuk menempuh jarak tertentu, semakin baik efisiensi bahan bakarnya. Konsumsi bahan bakar dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu mesin dalam menggunakan bahan bakar sesuai dengan beban kerja yang diterima selama proses operasional. Semakin besar beban kerja yang dikenakan pada mesin, maka semakin tinggi pula tingkat konsumsi bahan bakarnya. (Jaelani, M. A. K., Fatkhurrozak. F., Lukman, S. 2024)

Dalam pengujian mesin, konsumsi bahan bakar diukur sebagai laju aliran massa bahan bakar per unit waktu (FC). Pengetahuan ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana efisiensi mesin dalam menggunakan bahan bakar untuk menghasilkan daya. Konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh kondisi mesin setiap alat, kinerja operator dalam menjalankan alat- alat tersebut, dan kondisi area kerja. Konsumsi bahan bakar ini sangat memengaruhi biaya operasi perusahaan. Untuk mengetahui jumlah konsumsi bahan bakar dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FC = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

FC = Konsumsi bahan bakar (ml/s)

V = Volume bahan bakar (ml)

t = Waktu (detik)

## 2. Produktivitas alat angkut

Produktivitas merupakan suatu perbandingan antara hasil yang dicapai dengan seluruh sumber daya yang telah digunakan (Apriliana. Adiwarman, M., Ramadhon, I, A., Putra. 2023). Produktivitas menjadi salah satu tolok ukur standar dalam penghitungan efisiensi bahan bakar. Berikut rumusan produktivitasnya:

$$Q = \frac{n \times kb \times 360 \times FF \times Sff \times Eff}{CT} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Q = Produksi alat angkut (m<sup>3</sup>/jam)

n = Jumlah pengisian

Kb = Kapasitas muat bucket (m<sup>3</sup>)

FF = Faktor pengisian bucket (%)

Sf = *Swelling factor*

Eff = Efisiensi kerja dump truck (%)

CT = Waktu edar (detik)

### 3. *Fuel ratio*

*Fuel ratio* menggambarkan perbandingan antara konsumsi bahan bakar total terhadap hasil produksi dalam kurun waktu operasi tertentu. Artinya, *fuel ratio* dapat dipahami sebagai jumlah liter bahan bakar yang harus dikeluarkan untuk memproduksi 1 bcm overburden atau 1 ton batubara (Yunita., Harsiga, E. 2023). Besarnya *fuel ratio* berpengaruh terhadap profitabilitas perusahaan tambang, karena alokasi biaya bahan bakar termasuk dalam kategori biaya yang cukup signifikan pada kegiatan produksi. Berikut rumusnya:

$$FR = \frac{\text{Jumlah konsumsi bahan bakar}}{\text{Produktivitas}} \quad (2.3)$$

## 2.4 Regresi Linier Berganda

Iba, Z., Wardhana, A. (2024), menyatakan bahwa analisis regresi linier berganda adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengukur hubungan antara satu variabel dependen dengan dua atau lebih variabel independen. Metode ini digunakan untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai-nilai variabel independen yang diberikan. Regresi linier berganda adalah analisis regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel independen dalam hubungannya dengan variabel dependen. Metode ini memungkinkan peneliti untuk

memeriksa pengaruh dari beberapa variabel independen terhadap variabel dependen secara simultan. Regresi Linier Berganda adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara satu variabel yang bergantung pada (Y) dan dua atau lebih variabel yang tidak bergantung pada (X1, X2, X3, dst.). Tujuannya adalah untuk memahami dan meramalkan bagaimana perubahan dalam variabel dependen Y dipengaruhi oleh perubahan dalam satu atau lebih variabel independen X. Dalam regresi linier berganda, hubungan antara variabelvariabel ini disajikan dalam bentuk persamaan garis lurus. Persamaan regresi linier berganda digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh relatif dari setiap variabel independen terhadap variabel dependen, serta untuk membuat prediksi tentang nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang diberikan. Regresi linier berganda memiliki bentuk umum seperti ini:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.4)$$

Keterangan :

Y : Variabel terikat dependen (nilai yang diprediksikan)

X1, X2, ..., Xn : Variabel independen

$\beta_0$  : Intercept (konstanta)

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  : Koefisien regresi yang mengukur seberapa besar perubahan dalam Y yang terjadi ketika setiap variabel independen berubah satu unit

$\varepsilon$  : error (kesalahan)

#### 2.4.1 Tahapan dalam analisis regresi linier berganda

Dalam menentukan hasil regresi beberapa langkah yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data. Mengumpulkan data yang berisi nilai variabel bebas dan terikat yang akan digunakan dalam analisis.
2. Estimasi Model. Penghitungan model regresi linier berganda dengan mencari koefisien regresi ( $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ , dll.) yang paling cocok dengan data. Estimasi ini

sering dilakukan dengan metode kuadrat terkecil untuk menemukan garis terbaik yang sesuai dengan data.

3. Evaluasi Model. Evaluasi model untuk memahami seberapa baik model tersebut menjelaskan hubungan antara variabel dependen dan independen. Evaluasi ini melibatkan penggunaan statistik seperti koefisien *determinasi* (*R-squared*) untuk mengukur seberapa besar variasi dalam variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh model.
4. Prediksi dan Interpretasi. Gunakan model regresi linier berganda untuk membuat prediksi tentang variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen. Selain itu, interpretasikan koefisien regresi untuk memahami pengaruh masing-masing variabel independen pada variabel dependen
5. Uji hipotesis  
Dalam penelitian regresi linier berganda, uji hipotesis berfungsi untuk menguji apakah variabel-variabel independen ( $X_1$ ,  $X_2$ , dst.) secara individual maupun simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen ( $Y$ ).

#### 2.4.2 Kriteria dan statistik dalam evaluasi regresi linier berganda

Seperti yang ditulis oleh (Iba, Z., Wardhana, A. 2024) adalah sebagai berikut:

1. Koefisien *Determinasi* (*R-squared*). Koefisien determinasi, atau *R-squared* ( $R^2$ ), mengukur seberapa besar variasi dalam variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh model regresi. Dalam regresi berganda, koefisien determinasi dapat dihitung dengan cara mengkuadratkan koefisien korelasi antara variabel independen dan variabel dependen. Berikut persamaannya:

$$KD = r^2 \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

KD : Nilai koefisien determinan

$r^2$  : Nilai koefisien korelasi antar variabel independen dan variabel dependen

Koefisien determinasi memiliki interpretasi sebagai proporsi variabilitas dari variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model regresi. Dengan demikian, jika  $R^2$  memiliki nilai 1, itu berarti bahwa seluruh variabilitas dari variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen. Namun, jika  $R^2$  memiliki nilai 0, itu menunjukkan bahwa variabel independen tidak dapat menjelaskan sama sekali variabilitas dari variabel dependen. Koefisien determinasi juga merupakan salah satu ukuran yang penting dalam mengevaluasi kebaikan suatu model regresi. Meskipun demikian, koefisien determinasi juga memiliki batasan dalam hal interpretasi, terutama ketika digunakan dalam regresi linier berganda. Dalam regresi berganda, penambahan variabel independen baru cenderung akan meningkatkan nilai  $R^2$  meskipun variabel tersebut tidak memiliki hubungan yang kuat dengan variabel dependen. Oleh karena itu, disarankan untuk selalu mengevaluasi kebaikan model secara holistik dengan mempertimbangkan  $R^2$  bersama dengan ukuran lainnya seperti uji asumsi, analisis residual, dan interpretasi koefisien regresi. Selain itu, perlu diingat bahwa  $R^2$  tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya kriteria untuk menilai kebaikan model. Meskipun  $R^2$  yang tinggi menunjukkan model yang baik, tetapi itu harus didukung dengan analisis lain untuk memastikan bahwa model regresi yang digunakan sesuai dengan data yang ada.

2. Uji F (F-test). Uji F adalah salah satu metode untuk menguji signifikansi secara keseluruhan dari model regresi dalam hal regresi linier berganda. Selain uji statistik individual (uji t), peneliti juga perlu memperhatikan kontribusi masing-masing variabel independen terhadap model secara keseluruhan, yang dapat dievaluasi melalui uji F. Dengan memperhatikan interpretasi koefisien regresi dan uji F, peneliti dapat memahami lebih dalam bagaimana variabel independen berkontribusi terhadap variabilitas pada variabel dependen dalam konteks regresi linier berganda. Dalam konteks pengambilan keputusan, pemahaman yang mendalam tentang koefisien regresi dan uji F dapat membantu peneliti untuk membuat keputusan yang lebih terinformasi dan akurat berdasarkan analisis regresi yang dilakukan. Uji F ini menguji apakah

setidaknya satu variabel independen secara bersama-sama berpengaruh terhadap variabel dependen. Dalam konteks regresi berganda, uji F digunakan untuk menguji hipotesis bahwa semua koefisien regresi adalah nol, artinya tidak ada hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen. Secara matematis, uji F dapat dihitung dengan membandingkan variabilitas yang dijelaskan oleh model regresi (*sum squares of regression*) dengan variabilitas yang tidak dijelaskan oleh model regresi (*sum squares of residuals*). Nilai uji F yang besar dengan nilai p kurang dari tingkat signifikansi yang ditentukan akan mengindikasikan bahwa setidaknya satu variabel independen berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen. Selain itu, uji F juga berguna untuk mengevaluasi kecocokan model secara keseluruhan. Meskipun hasil uji F menunjukkan adanya hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen, tetapi tetap diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap asumsi-asumsi regresi, analisis residual, dan kegunaan model secara praktis. Dengan demikian, uji F tidak hanya memberikan informasi mengenai signifikansi model regresi, tetapi juga memungkinkan peneliti untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang kontribusi variabel-variabel independen terhadap variabel dependen dalam regresi linier berganda.

3. Koefisien Regresi (Beta). Koefisien regresi ( $\beta$ ) mengukur seberapa besar perubahan dalam variabel dependen yang diharapkan saat variabel independen berubah satu unit. Interpretasi koefisien regresi adalah kunci untuk memahami bagaimana variabel independen memengaruhi variabel dependen. Koefisien regresi menunjukkan seberapa besar perubahan rata-rata dalam variabel dependen yang terkait dengan satu unit perubahan dalam variabel independen, dengan asumsi bahwa semua variabel lain dalam model tetap konstan. Dalam regresi sederhana, koefisien regresi dapat diinterpretasikan sebagai besarnya peningkatan atau penurunan rata-rata dari variabel dependen untuk setiap satuan kenaikan variabel independen. Selain itu, penting untuk memeriksa signifikansi statistik dari koefisien regresi untuk menentukan apakah hubungan antara variabel independen dan variabel dependen adalah nyata atau hanya

terjadi oleh kebetulan. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat nilai p-nilai yang dihasilkan dari uji statistik untuk setiap koefisien regresi.

4. Uji T (t-test). Uji t digunakan untuk menguji signifikansi statistik dari masing-masing koefisien regresi. Uji t membantu menentukan apakah setiap variabel independen memiliki pengaruh yang signifikan pada variabel dependen. Uji t dalam analisis regresi digunakan untuk menguji signifikansi dari koefisien regresi. Uji t membantu menentukan apakah variabel independen secara signifikan memengaruhi variabel dependen dalam model regresi. Uji t menghasilkan nilai t-statistik yang dibandingkan dengan distribusi t untuk menentukan apakah koefisien regresi secara signifikan berbeda dari nol. Jika nilai t-statistik lebih besar dari nilai kritis yang ditentukan oleh tingkat signifikansi yang dipilih, maka koefisien regresi dianggap signifikan. Uji t juga dapat dilakukan secara parsial untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel independen secara terpisah terhadap variabel dependen dalam model regresi. Nilai uji t yang besar dengan nilai p kurang dari tingkat signifikansi yang ditentukan akan mengindikasikan bahwa setidaknya variabel independen berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen. Selain itu, uji t juga berguna untuk mengevaluasi kecocokan model. Meskipun hasil uji t menunjukkan adanya hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen.
5. Uji Asumsi Klasik. Selanjutnya, dalam praktiknya, peneliti juga harus memperhatikan asumsi-asumsi regresi linier berganda seperti asumsi normalitas, asumsi homoskedastisitas, asumsi heteroskedastisitas, asumsi linieritas, dan asumsi multikolonieritas untuk memastikan validitas hasil analisis regresi.

## **2.5 Metode Desain Eksperimen**

Desain eksperimen merupakan pendekatan metodologis yang esensial dalam riset ilmiah untuk menguji hipotesis, menelusuri hubungan kausal, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi suatu gejala. Melalui perancangan yang sistematis dan manipulasi variabel bebas secara terkontrol,

desain ini memungkinkan peneliti memperoleh bukti empiris yang valid dalam menjelaskan hubungan sebab-akibat antar variabel. Desain eksperimen adalah metode terstruktur dan terorganisir untuk menentukan hubungan antara faktor input ( $x_i$  – variabel independen) yang memengaruhi satu atau lebih respon *output* ( $y$  – variabel dependen), melalui pembentukan model matematis ( $y = f(x_i)$ ) (Permana, T., Darusman, F. 2023).

#### 2.5.1 Pendekatan filosofi metode taguchi

Metode Taguchi pertama kali dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1940 di Jepang sebagai pendekatan baru dalam bidang rekayasa dan pengendalian kualitas. Metode ini merupakan suatu teknik perancangan eksperimen yang bertujuan untuk menentukan kombinasi faktor dan tingkat kontrol yang optimal guna meningkatkan kualitas produk serta efisiensi proses. Mencapai efisiensi waktu penyelesaian yang cepat dengan biaya proses yang minimal, serta peluang untuk meningkatkan produktivitas (Pradana, E. S., Sulistiyowati, W. 2022). Tujuan utama dari metode Taguchi adalah menghasilkan kualitas produk yang optimal sekaligus menekan biaya produksi dan konsumsi sumber daya. Metode ini juga dirancang untuk membuat sistem atau produk menjadi tahan terhadap pengaruh gangguan eksternal (*noise*), sehingga sering disebut sebagai *Robust Design*. Kualitas menurut Taguchi adalah kerugian yang diterima oleh konsumen sejak produk tersebut dikirimkan (Ariesta, M. 2010). Adapun filosofi Taguchi terdiri dari:

1. Kualitas didesain mulai dari awal proses tidak hanya pada proses inspeksi
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target
3. Kualitas tidak hanya didasarkan *performance*
4. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi dari variasi *performance* produk

Metode Taguchi merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk menentukan kombinasi terbaik dalam menghasilkan produk berupa barang atau jasa (Armand, R, M., 2024). Metode ini menawarkan rancangan eksperimen yang memungkinkan identifikasi kombinasi optimal dari berbagai faktor dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan metode konvensional. Namun demikian, metode

Taguchi juga memiliki keterbatasan. Salah satu kelemahannya adalah struktur desain yang kompleks, yang mana dalam beberapa rancangan, pengaruh interaksi antar faktor dikorbankan demi penyederhanaan model. Oleh karena itu, pemilihan jenis rancangan eksperimen harus dilakukan secara hati-hati dan disesuaikan dengan tujuan penelitian.

Taguchi menekankan bahwa peningkatan kualitas harus dimulai sejak tahap awal perancangan produk atau proses, dan tidak hanya mengandalkan inspeksi akhir. Strategi *off-line quality control* diusulkan sebagai pendekatan preventif yang menekankan pentingnya membangun kualitas ke dalam desain produk sebelum proses produksi dimulai. Hal ini berarti bahwa kualitas rendah tidak dapat diperbaiki secara efektif hanya melalui inspeksi, penyaringan, atau perbaikan barang jadi; sebaliknya, pencegahan sejak awal merupakan strategi utama dalam menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Selain itu, Taguchi mengajukan konsep bahwa kualitas berkaitan langsung dengan deviasi parameter desain dari nilai target. Produk yang mendekati nilai target memiliki kualitas yang lebih baik, meskipun berada dalam batas spesifikasi yang diperbolehkan. Produk dengan distribusi hasil yang menyimpang (*skewed*) dari nilai target, meskipun masih diterima, dianggap memiliki kualitas yang lebih rendah. Oleh karena itu, upaya minimalisasi deviasi terhadap nilai target menjadi penting dalam pengendalian kualitas.

Konsep terakhir dalam metode Taguchi adalah bahwa deviasi terhadap parameter desain mencerminkan biaya sepanjang siklus hidup produk, termasuk biaya operasional, inspeksi, pengembalian produk, dan lainnya. Dengan mengidentifikasi dan mengontrol parameter-parameter kunci sejak tahap perancangan, perusahaan dapat menurunkan total biaya dan meningkatkan kualitas secara simultan.

Beberapa hal yang menjadi kelebihan dan kekurangan metode Taguchi adalah seperti yang diulas oleh Kumambang, S. 2023, menjelaskan bahwa kelebihan metode taguchi dibandingkan dengan desain eksperimen yang lain, meliputi;

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan jika dibandingkan dengan menggunakan percobaan *full factorial*.

2. Dapat melakukan penghematan terhadap rata-rata dan variasi karakteristik kualitas sekaligus, sehingga ruang lingkup pemecahan masalah lebih luas.
3. Dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas melalui penghitungan average dan *S/N Ratio* sehingga faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus.

Sedangkan kekurangan dari metode Taguchi adalah apabila percobaan ini dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi, akan terjadi pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama. Akibatnya, keakuratan hasil percobaan akan berkurang, jika interaksi yang diabaikan tersebut memang berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati.

#### 2.5.2 Desain eksperimen

Pada penelitian dengan metode Taguchi ini, langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Berikut tahapan dalam penelitian metode Taguchi (Kumambang, S. 2023):

##### 1. Fase perencanaan

Penentuan variabel respon karakteristik yang digunakan, identifikasi faktor, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, penghitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks ortogonal.

##### 2. Fase pelaksanaan

Penentuan jumlah replikasi dan sampel percobaan, pelaksanaan eksperimen untuk mencari nilai variabel respon yang diselidiki. Jumlah eksperimen ditentukan berdasarkan jumlah replikasi dan disusun secara acak untuk menjaga keacakan dan validitas data. Data respons dikumpulkan sesuai jumlah baris dalam *orthogonal array* dan selanjutnya dikonversi menjadi nilai *Signal-to-Noise (S/N) Ratio* guna mengevaluasi kestabilan kinerja terhadap variasi. Penentuan jumlah replikasi dan penerapan randomisasi adalah langkah penting dalam objektivitas dan keandalan hasil. Berikut urutan pada fase pelaksanaan:

##### a. Jumlah replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang

lebih tinggi. Replikasi dilakukan untuk tujuan:

- Menambah ketelitian eksperimen
- Mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen
- Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikan hasil eksperimen.

b. Randomisasi

Dalam pelaksanaan eksperimen, selain faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel, juga terdapat faktor tak terkendali seperti kelelahan operator atau fluktuasi daya mesin yang dapat memengaruhi hasil. Untuk meminimalkan pengaruhnya, dilakukan randomisasi urutan percobaan agar variabilitas tersebut tersebar merata sepanjang eksperimen. Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk:

- Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen.
- Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lainnya.

Jika replikasi dilakukan dengan tujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan untuk menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias.

3. Fase analisis

Pada fase ini hal-hal yang dilakukan adalah analisa pengaruh faktor, ANOVA, penentuan setting level optimum, penghitungan interval kepercayaan, perbandingan kondisi optimum eksperimen Taguchi dengan eksperimen konfirmasi. Sekaligus juga dilakukan pengolahan data yang mencakup pengumpulan, pengaturan, penghitungan, serta penyajian data dalam format yang sesuai dengan desain eksperimen yang diterapkan.

Langkah-langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut:

1. Perumusan masalah

Langkah awal dalam merancang eksperimen adalah menyusun masalah penelitian secara spesifik dan terukur. Masalah yang dirumuskan perlu memiliki batasan yang jelas serta memungkinkan untuk dijadikan dasar dalam pelaksanaan eksperimen yang akan dilakukan.

2. Tujuan eksperimen

Tujuan dari eksperimen harus dirumuskan dengan mengacu pada permasalahan tersebut. Tujuan ini berperan sebagai panduan dalam mencari hubungan kausal antara faktor penyebab dan akibat yang diamati dalam fenomena yang diteliti.

3. Memilih karakteristik kualitas (variabel tak bebas atau respon kualitas)

Peneliti harus menetapkan variabel respons atau karakteristik kualitas yang menjadi objek pengamatan. Variabel ini disebut sebagai variabel terikat karena nilainya dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam eksperimen Taguchi, variabel tak bebas adalah karakteristik yang terdiri dari tiga kategori, yaitu:

- Karakteristik yang dapat diukur

Semua hasil akhir dapat diukur dengan skala kontinyu. Contoh: temperature, berat, tekanan, dan lain-lain.

- Karakteristik atribut

Hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan secara kelompok. Contoh: retak, buruk, dan baik.

- Karakteristik dinamis

Merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal*, sedangkan *output* digambarkan sebagai hasil dari *signal*.

4. Identifikasi faktor-faktor (variabel bebas)

Penentuan variabel bebas dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang secara langsung memengaruhi variabel terikat. Variabel ini bersifat independen karena nilainya tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Hanya faktor-faktor dominan saja yang perlu dimasukkan dalam eksperimen, yang dapat

diidentifikasi melalui metode seperti *brainstorming*, diagram sebab-akibat, atau *flowchart*.

5. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Identifikasi terhadap faktor yang dapat dan tidak dapat dikendalikan merupakan langkah penting dalam perancangan eksperimen. Dalam metode Taguchi, faktor yang dapat diatur disebut sebagai faktor kontrol, sedangkan faktor yang tidak dapat dikendalikan disebut dengan faktor gangguan (*noise*). Perbedaan karakteristik ini akan menentukan strategi pengendalian yang diterapkan selama pelaksanaan eksperimen.

6. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Pemilihan jumlah level pada setiap faktor berpengaruh langsung terhadap ketelitian hasil dan efisiensi biaya eksperimen. Semakin banyak level yang digunakan, maka semakin tinggi ketelitian hasilnya karena data yang diperoleh lebih rinci. Namun, peningkatan jumlah level juga akan memperbesar jumlah pengamatan dan berdampak pada meningkatnya biaya eksperimen.

7. Identifikasi interaksi antar faktor kontrol

Interaksi faktor kontrol terjadi ketika dua atau lebih variabel perlakuan diterapkan secara bersamaan dan menghasilkan perbedaan karakteristik kualitas dibandingkan saat variabel diuji secara individual. Kesalahan dalam mengidentifikasi interaksi dapat menyebabkan misinterpretasi data dan berefek pada kegagalan proses optimasi. Meskipun pendekatan Taguchi lebih menitikberatkan pada pengaruh utama (*main effect*), kemungkinan terjadinya interaksi tetap perlu diperhitungkan secara hati-hati. Oleh karena itu, meskipun interaksi tidak menjadi fokus utama, tetap diperlukan analisis terhadap keberadaannya untuk memastikan hasil eksperimen tetap valid.

8. Penghitungan derajat kebebasan

Penghitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk memastikan faktor yang diamati dalam mencerminkan hasil yang optimum

9. Pemilihan *orthogonal array*

Pemilihan jenis *Orthogonal Array* (OA) disesuaikan dengan jumlah level pada

setiap faktor. Jika seluruh faktor memiliki dua atau tiga level, maka digunakan OA khusus untuk masing-masing level. Dalam kasus kombinasi level, OA dipilih berdasarkan level yang paling dominan.

10. Penempatan kolom faktor dan interaksi

Dalam proses perancangan eksperimen menggunakan metode Taguchi, penugasan faktor, baik faktor kontrol maupun faktor gangguan, serta interaksi antar faktor dalam *Orthogonal Array* (OA) yang dipilih dilakukan dengan merujuk pada dua alat bantu utama, yaitu grafik linier dan tabel segitiga. Grafik linier berfungsi untuk menunjukkan alokasi kolom dalam OA tempat setiap faktor ditempatkan. Tabel segitiga digunakan untuk mengidentifikasi seluruh kemungkinan interaksi antar kolom dalam OA, sehingga memudahkan dalam menentukan kombinasi faktor dan interaksi yang perlu diamati secara sistematis. Kedua alat ini merupakan komponen penting dalam memastikan desain eksperimen yang terstruktur dan efisien sesuai pendekatan Taguchi.

11. Persiapan dan pelaksanaan percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan yang sudah ditentukan level dan faktornya.

12. Analisis data hasil eksperimen

Aktivitas utama meliputi proses pengumpulan, pengelolaan, serta pengolahan informasi yang diperoleh dari eksperimen. Data yang telah dikumpulkan kemudian disusun dan disajikan dalam bentuk yang sesuai dengan rancangan eksperimen yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan analisis statistik seperti analisis varian (ANOVA), pengujian hipotesis, dan penerapan rumus-rumus empiris guna menafsirkan hasil yang diperoleh. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam terhadap pengaruh faktor-faktor yang diuji dalam eksperimen terhadap variabel yang diamati.

13. Interpretasi hasil eksperimen

Dalam proses interpretasi terhadap hasil yang diperoleh, cakupan didalamnya termasuk penghitungan kontribusi relatif setiap faktor terhadap variabel respon, serta estimasi interval kepercayaan untuk setiap perlakuan yang diuji. Hal ini untuk menilai sejauh mana faktor tersebut berpengaruh dan memastikan

keandalan hasil yang diobservasi selama proses eksperimen berlangsung.

#### 14. Eksperimen konfirmasi

Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi:

- a. Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya.
- b. Merancang parameter (faktor) yang optimum hasil analisis dari hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

Langkah-langkah eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

- a. Merancang kondisi optimum untuk faktor dan level yang signifikan.
- b. Membandingkan rata-rata dan variansi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata dan variansi yang diharapkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil jika:

- a. Terjadi perbaikan dari hasil setelah dilakukan eksperimen Taguchi.
- b. Hasil dari eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai yang diprediksikan.

#### 2.5.3 *Orthogonal array*

*Orthogonal array* digunakan untuk desain percobaan yang efisien, analisis data percobaan, dan menentukan jumlah eksperimen seminimal mungkin namun mendapat informasi yang banyak dari semua faktor yang memengaruhi parameter. *Orthogonal array* atau matrik orthogonal terdiri dari beberapa kolom orthogonal, yang mana dari setiap pasang kolom kondisi performa muncul dalam jumlah yang sama. Dalam matrik orthogonal, kolom adalah faktor yang diuji coba sedangkan baris ialah jumlah eksperimen, sedangkan isi dari matrik menyatakan level dari faktor yang diuji coba, jumlah baris minimal sama dengan *degree of freedom*. Baris merupakan keadaan suatu faktor, sedangkan kolom adalah faktor yang dapat diubah dalam eksperimen (Jung, K., Lee, J. 2024.). Berikut tabel *orthogonal array* untuk jumlah faktor dan level tertentu:

Tabel 2.2 Tabel *orthogonal array* sesuai faktor dan level

| 2 Level          | 3 Level          | 4 Level          | 5 Level       | Level Gabungan                 |
|------------------|------------------|------------------|---------------|--------------------------------|
| $L_4(2^3)$       | $L_9(3^4)$       | $L_{16}(4^5)$    | $L_{25}(5^6)$ | $L_{18}(2^1 \times 3^7)$       |
| $L_8(2^7)$       | $L_{27}(3^{22})$ | $L_{64}(4^{21})$ |               | $L_{32}(2^1 \times 4^9)$       |
| $L_{12}(2^{11})$ | $L_{18}(2^{40})$ |                  |               | $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ |
| $L_{16}(2^{15})$ |                  |                  |               | $L_{36}(2^3 \times 3^{13})$    |
| $L_{32}(2^{31})$ |                  |                  |               | $L_{50}(2^1 \times 5^{11})$    |
| $L_{64}(2^{63})$ |                  |                  |               | $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$    |

*Orthogonal array* diklasifikasikan menjadi empat jenis adalah sebagai berikut:

1. *Orthogonal array standard*

- Dua level tabel OA:  $L_4(2^3)$ ,  $L_8(2^7)$ ,  $L_{12}(2^{11})$ ,  $L_{16}(2^{15})$ ,  $L_{32}(2^{31})$ ,  $L_{64}(2^{63})$
- Tiga level tabel OA:  $L_9(3^4)$ ,  $L_{27}(2^{13})$ ,  $L_{32}(2^{40})$ .
- Empat level tabel OA:  $L_{32}(4^{21})$
- Lima level tabel OA:  $L_{32}(5^6)$ .

2. *Extended orthogonal array atau partially orthogonal array*

Jika terdapat faktor yang harus ditempatkan dan interaksi dapat diabaikan, maka tabel OA standar dapat ditambahkan jumlah kolomnya, sehingga mengakomodasi lebih banyak faktor. Contoh:  $L_{12}(2^{11})$ , dan  $L_{27}(3^{22})$ .

3. *Mixed orthogonal array*

Tabel OA jenis ini terdapat dua jenis level yang berbeda, digunakan ketika terdapat banyak faktor dengan level berbeda, interaksi dapat diabaikan. Contoh:  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ,  $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ ,  $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ ,  $L_{36}(2^3 \times 3^{13})$ ,  $L_{50}(2^1 \times 5^{11})$ , dan  $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$ .

4. *Column-Merged Orthogonal Array*

Tabel OA ini berasal dari penggabungan kolom dari tabel OA standar. Contoh:  $L_8(4^1 \times 2^4)$ ,  $L_{16}(4^1 \times 2^{12})$ ,  $L_{16}(4^2 \times 2^9)$ ,  $L_{16}(4^4 \times 2^3)$ ,  $L_{16}(4^5)$ , dan  $L_{16}(8^1 \times 2^8)$ .

Atau dapat dijelaskan dalam notasi lain, yaitu:

$$L_n(l^f) \quad (2.6)$$

Keterangan:

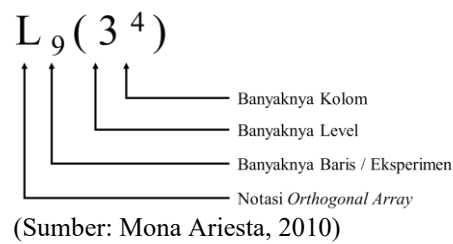
$f$  : Banyaknya faktor (kolom)

$l$  : Banyaknya level

$n$  : Banyaknya pengamatan

$L$  : Menyatakan informasi mengenai *orthogonal array*

Notasi *orthogonal array* digambarkan seperti dibawah ini:



Gambar 2.3 Contoh notasi *orthogonal array*

Matriks *OA* pada tabel diatas terdiri dari 4 parameter kendali (A, B, C, dan D) dengan empat level, untuk matriks diatas diperlukan 9 kali percobaan. Dua hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan jenis OA, yaitu:

1. Jumlah level dan faktor yang akan diteliti
2. Interaksi dalam faktor

Tabel 2.3 Contoh *orthogonal array*  $L_9(3^4)$

| Ekperimen | Kolom |   |   |   |
|-----------|-------|---|---|---|
|           | A     | B | C | D |
| 1         | 1     | 1 | 1 | 1 |
| 2         | 1     | 2 | 2 | 2 |
| 3         | 1     | 3 | 3 | 3 |
| 4         | 2     | 1 | 2 | 3 |
| 5         | 2     | 2 | 3 | 1 |
| 6         | 2     | 3 | 1 | 2 |
| 7         | 3     | 1 | 3 | 2 |
| 8         | 3     | 2 | 1 | 3 |
| 9         | 3     | 3 | 2 | 1 |

#### 2.5.4 Faktor yang memengaruhi proses desain eksperimen Taguchi

Parameter-parameter yang berpengaruh dalam suatu proses produksi adalah (Fitriana, N. 2009):

1. Faktor sinyal adalah parameter yang diatur untuk menentukan nilai respon produk yang diinginkan.
2. Faktor noise (*uincontrollable factor*). Faktor ini termasuk faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh perancang, atau bobotnya dalam lingkungan sulit atau mahal untuk dikendalikan.
3. Faktor kendali (*controllable factor*). Faktor ini termasuk parameter yang dapat ditentukan secara bebas oleh perancang dalam nilai terbaik parameter tersebut. Bila nilai tiap faktor terkendali tertentu diubah maka karakteristik mutu dapat pula berubah.

Dalam desain Taguchi, adakalanya terjadi suatu produk atau proses tidak sensitif terhadap pengaruh faktor yang dapat memengaruhi produk atau proses tersebut. Faktor *noise* merupakan sumber variasi yang sulit dikendalikan dan memengaruhi suatu karakteristik produk. Terdapat tiga tipe faktor *noise*, yaitu:

1. *Unit to unit noise factor* adalah faktor yang melekat dalam variasi acak dan disebabkan adanya variabilitas bahan, mesin dan manusia.
2. *Internal noise factor* adalah variasi yang bersumber dari dalam produk. Contohnya adalah kesalahan operasional.
3. *External noise factor* adalah variasi yang bersumber dari luar produk dan sulit dikendalikan.

Penanganan faktor *noise* melalui tiga cara, yaitu:

1. Dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing percobaan.
2. Memasukkan faktor *noise* kedalam percobaan dengan menempatkannya diluar faktor terkendali.
3. Dengan menganggap faktor terkendali bervariasi

#### 2.5.5 Klasifikasi dari desain eksperimen

Tujuan eksperimen dalam pembuatan produk adalah untuk membuat cara meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Namun

dalam prosesnya bisa saja terjadi beberapa gangguan yang dapat menyebabkan sebuah produk tidak berfungsi dengan baik. Beberapa faktor gangguan yang menyebabkan sebuah produk tidak berfungsi seperti tujuan diantaranya:

1. Gangguan eksternal

Faktor gangguan eksternal diartikan sebagai sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk. Gangguan eksternal berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang memengaruhi fungsi ideal dari produk.

2. Gangguan internal

Gangguan internal berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi boros, sehingga tidak mencapai target.

3. Gangguan antar unit

Keragaman antar unit berkaitan yang disebabkan oleh perbedaan perlakuan tiap produk atau proses, meskipun telah dibuat dalam spesifikasi yang sama.

Faktor gangguan tidak dapat dihilangkan, karena faktor tersebut ada dalam sistem, sehingga karakteristik kualitas dari produk tidak akan mencapai nilai target. Empat pendekatan untuk mengurangi varian (keragaman), yaitu:

1. Mencari dan menghilangkan penyebab perbedaan

Berfokus pada identifikasi akar penyebab variasi dan menghilangkannya.

2. Mempersempit toleransi

Menetapkan batas toleransi yang ketat, tetapi beresiko meningkatkan biaya.

3. Gunakan perancangan kokoh

Merancang produk / proses yang tahan terhadap variasi (pendekatan utama).

4. Produk yang cacat dibuang

Produk yang tidak memenuhi standar kualitas dibuang atau direproduksi.

#### 2.5.6 Rancangan eksperimen metode Taguchi

Metode Taguchi menawarkan pendekatan sistematis dan efisien dalam melakukan eksperimen untuk meningkatkan kualitas produk atau proses. Pendekatan ini menekankan pentingnya perencanaan yang terstruktur dalam merancang eksperimen, guna mengidentifikasi pengaruh berbagai faktor terhadap karakteristik kualitas.

Berikut adalah langkah-langkah utama dalam pelaksanaan eksperimen menurut Taguchi:

1. Menyatakan obyek permasalahan yang akan diselesaikan

Langkah awal adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang menjadi fokus eksperimen secara jelas dan terukur. Permasalahan ini dapat berupa variasi produk, inefisiensi proses, atau penyimpangan karakteristik kualitas. Penjabaran masalah dilakukan secara deskriptif untuk memastikan pemahaman menyeluruh terhadap konteks dan ruang lingkup perbaikan yang akan dilakukan.

2. Menentukan tujuan

Setelah permasalahan diidentifikasi, langkah berikutnya adalah menentukan tujuan eksperimen, yaitu menetapkan karakteristik kualitas yang ingin dicapai serta target performa yang diharapkan. Tujuan ini menjadi dasar dalam mengevaluasi keberhasilan eksperimen dan menentukan arah perbaikan proses atau produk.

3. Menentukan metode acuan penilaian

Langkah ini berkaitan dengan penentuan parameter pengukuran (kriteria evaluasi) yang digunakan untuk menilai hasil eksperimen. Parameter tersebut harus dapat mengukur performa sistem secara objektif dan akurat. Pada tahap ini juga disiapkan sarana, instrumen, serta metode pengukuran yang dibutuhkan, untuk menjamin konsistensi dan validitas hasil pengamatan.

4. Mengidentifikasi faktor

Dalam metode Taguchi, penting untuk mengidentifikasi seluruh faktor yang berpotensi memengaruhi respon kualitas, baik yang berasal dari proses, bahan, lingkungan, maupun manusia. Proses identifikasi dilakukan secara sistematis dan bertahap, untuk menemukan faktor-faktor kunci (*key factors*) yang perlu dimasukkan dalam rancangan eksperimen.

5. Menentukan pemisahan faktor kontrol dan faktor *noise*

Setelah semua faktor teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah dengan mengelompokkan faktor menjadi dua kategori utama, yaitu:

- a) Faktor Kontrol: Faktor yang dapat diatur atau dimodifikasi selama proses produksi.
- b) Faktor Noise: Faktor gangguan yang tidak dapat dikendalikan secara langsung, namun berpotensi menimbulkan variasi dalam hasil.

Tujuan dari pemisahan ini adalah untuk merancang sistem yang *robust* (kokoh) terhadap pengaruh faktor noise, dengan cara mengoptimalkan pengaturan faktor kontrol.

#### 6. Menentukan level setiap faktor dan nilai faktor

Setiap faktor yang dipilih dalam eksperimen harus memiliki level atau tingkatan (misalnya: rendah, sedang, tinggi) yang akan diuji. Kombinasi dari level-level ini akan digunakan dalam rancangan ortogonal Taguchi untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap respon. Tujuannya adalah mengidentifikasi kombinasi optimal dari faktor-faktor tersebut yang dapat:

- a) Meningkatkan performa sistem
- b) Mengurangi variasi kualitas
- c) Meningkatkan efisiensi dan stabilitas proses

Rangkaian langkah-langkah eksperimen sistematis menurut Taguchi dirancang untuk menghasilkan desain yang efisien dan tahan terhadap variasi, dengan meminimalkan jumlah eksperimen, namun tetap mampu mengungkap pengaruh faktor secara signifikan. Pendekatan ini sangat bermanfaat dalam pengambilan keputusan berbasis data, khususnya dalam konteks rekayasa kualitas dan perbaikan proses industri.

### 2.6 *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)*

Metode Taguchi dikenal luas karena kontribusinya dalam menciptakan sistem atau produk yang robust (kokoh) terhadap gangguan. Salah satu elemen utama dalam pendekatan ini adalah penggunaan *Signal to Noise Ratio* yang menjadi alat penting untuk meningkatkan kualitas produk melalui dua pendekatan utama (Ariesta, M. 2010) yaitu:

1. Pengurangan variasi (reduksi variabilitas) dari hasil keluaran sistem.
2. Peningkatan keandalan pengukuran performa terhadap target yang diinginkan.

Tujuan aplikasi *Signal to Noise Ratio* digunakan untuk mengevaluasi kestabilan performa sistem terhadap pengaruh faktor gangguan (*noise*). Rasio ini menggabungkan informasi mengenai signal (nilai rata-rata atau performa ideal dari karakteristik kualitas) dan noise (penyimpangan atau variabilitas dari nilai tersebut akibat faktor yang tidak terkendali). Dengan memaksimalkan nilai *S/N Ratio*, sistem akan cenderung menghasilkan performa yang lebih konsisten dan tahan terhadap variasi, meskipun berada dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal. Maka, semakin tinggi nilai *S/N Ratio*, semakin baik kualitas dan kestabilan sistem. Tujuan eksperimen faktor (*multi-factor experiments*) ganda dalam *Robust Design* dalam desain bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi kombinasi parameter optimal dari berbagai faktor yang dikendalikan (faktor kontrol).
2. Menguji interaksi antara faktor kontrol dan faktor gangguan, sehingga diperoleh konfigurasi desain yang tidak sensitif (*minimally sensitive*) terhadap perubahan atau fluktuasi faktor *noise*.

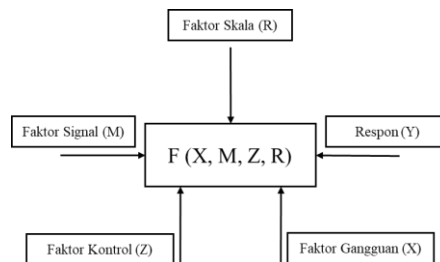
Dengan kata lain, tujuan utama eksperimen faktor ganda dalam desain robust adalah meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap variasi yang disebabkan oleh faktor gangguan. Hal ini dicapai tanpa perlu menghilangkan gangguan itu sendiri, tetapi dengan merancang sistem yang tetap memberikan performa tinggi. Parameter terkendali yang berkontribusi mengurangi variasi dan meningkatkan kualitas dapat diidentifikasi dengan menggunakan jumlah variasi pada keadaan sekarang dan pergeseran rata-rata respons kualitas (Ariesta, M. 2010). Semakin tinggi unjuk kerja yang diukur dengan tingginya *S/N Ratio* berarti sama dengan kerugian yang mengecil. Seperti fungsi kerugian mutu, *S/N Ratio* adalah ukuran obyektif dari kualitas yang memuat baik *mean* dan varian dalam penghitungan.

Tabel 2.4 Karakteristik kualitas

| Karakteristik            | Target                      | Contoh                           |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Larger is better</i>  | Semakin besar, semakin baik | Produksi, produktivitas          |
| <i>Nominal is better</i> | Tertuju pada nilai tertentu | <i>Inclination, Travel speed</i> |
| <i>Smaller is better</i> | Semakin kecil, semakin baik | Konsumsi bahan bakar             |

Faktor lainnya yang dapat memengaruhi karakteristik kualitas (*variable respon*) dari suatu produk. Faktor-faktor tersebut dapat diklasifikasikan atas:

- a. Faktor gangguan
- b. Faktor kontrol
- c. Faktor signal
- d. Faktor skala



Gambar 2.4 Faktor-faktor yang memengaruhi karakteristik kualitas  
(Sumber: Mona Ariesta, 2010)

*Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* adalah kontribusi original Taguchi pada rancangan eksperimen yang penting dan sekaligus kontroversial. Taguchi mendefinisikan *S/N Ratio* dengan rasio sebagai berikut:

$$SNR = \frac{(\text{rata-rata})^2}{\text{Varians}} = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (2.7)$$

Nilai *S/N Ratio* hasil dari pengolahan data percobaan untuk beberapa kombinasi (memiliki nilai tersendiri) *level* pada parameter kendali. Nilai tersebut dapat ketahui apakah parameter kendali (*signal*) memberikan pengaruh besar atau hanya memberikan pengaruh kecil yang akhirnya dianggap *noise*. Jika tujuan target adalah meningkatkan respons *output*, maka dicari nilai kombinasi setiap level dari *S/N Ratio* terbesar. *S/N Ratio* dibagi menjadi tiga yaitu:

- 1) *Larger is better*

Karakteristik kualitasnya adalah bersifat kontinyu, non negatif dan dapat memiliki nilai dari 0 sampai  $\infty$ . Nilai targetnya tidak boleh nol, idealnya sebesar mungkin. Pencapaian yang nilainya mendekati nilai tak terhingga maka

kualitas yang dihasilkan akan semakin baik atau semakin besar semakin baik. Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi *smaller is better*. Rumus *S/N Ratio* karakteristik *larger is better* yang digunakan yaitu:

$$SN\ Ratio = -10 \times \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2.8)$$

Keterangan:

- n : jumlah pengula pasirngan dari suatu kombinasi
- $Y_i$  : data respon kombinasi ke-i

## 2) *Nominal is better*

Jenis permasalahan tertuju pada nilai tertentu, karakteristik kualitasnya adalah kontinyu dan non negatif yaitu memiliki nilai antara 0 sampai  $\infty$ . Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan, nilai yang semakin mendekati target kualitasnya semakin baik. Apabila nilai yang telah ditetapkan merupakan sesuatu yang mutlak, maka pencapaiannya tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang telah ditetapkan sebelumnya. Nilai targetnya tidak nol dan terbatas. Rumus *SN Ratio* yaitu:

$$\eta = 10 \log \left( \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \quad (2.9)$$

Keterangan:

- $\mu^2$  : kuadrat nilai rata-rata dari setiap kombinasi (eksperimen)
- $\sigma^2$  : varian setiap kombinasi (eksperimen)

## 3) *Smaller is Better*

Karakteristik *Smaller is Better* digunakan untuk karakteristik kualitas yang idealnya bernilai nol, dan semakin kecil nilainya, maka semakin baik kualitas suatu produk atau proses. Karakteristik ini biasanya berupa deviasi, kesalahan, pemborosan, kebisingan, waktu proses berlebih, konsumsi bahan bakar, atau

cacat produk. Karakteristiknya merupakan variabel terukur dan bernilai non-negatif ( $\geq 0$ ), dengan nilai ideal = 0, artinya tidak ada deviasi atau kesalahan dan cocok digunakan untuk mengoptimalkan deviasi atau variabilitas dari target yang diinginkan. Dirumuskan sebagai berikut:

$$SN\ Ratio = -10 \times \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2.10)$$

Keterangan:

n : jumlah data

$y_i$  : data respon pengukuran ke -i

## 2.7 Konsep *Loss Function*

Taguchi memaparkan bahwa kualitas sebagai total kerugian yang diberikan kepada masyarakat sejak produk dikirimkan kepada konsumen. Kerugian dapat diukur dalam bentuk uang dan meliputi semua biaya yang berlebih dari biaya sebuah produk yang sempurna. Produk dengan desain dan struktur yang buruk akan mulai memberikan kerugian kepada masyarakat sejak fase persiapan (fase awal) dan berlanjut sampai fase penyempurnaan atau peningkatan performa fungsionalnya. Semakin melebar nilai karakteristik terhadap target maka nilai loss akan semakin meningkat (Ariesta, M. 2010). Terdapat dua kategori utama kerugian yang diberikan kepada masyarakat mengenai kualitas produk.

1. Berhubungan dengan kerugian yang terjadi sebagai hasil dari efek yang membahayakan masyarakat
2. Berhubungan dengan kerugian yang timbul karena variasi yang berlebihan dalam performan fungsional produk.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan mengenai *loss function*:

1. *Quality loss function* adalah fungsi yang kontinyu dan merupakan pengukuran deviasi dari nilai target.
2. Kerugian kualitas berhubungan dengan karakteristik performa produk yang dapat diminimalkan dengan mendesaian kualitas ke dalam produk. Pencegahan

terhadap buruknya kualitas jauh lebih murah dibandingkan dengan melakukan pekerjaan ulang.

3. Kerugian kualitas dihasilkan dari ketidakpuasan konsumen dan harus diukur secara sistem daripada secara diskrit pada salah satu titik proses.
4. Kerugian kualitas adalah sebuah kerugian finansial dan sosial.
5. Meminimalkan kerugian kualitas adalah satu-satunya cara untuk menjadi kompetitif dan bertahan dalam lingkungan bisnis.

Taguchi mendefinisikan *loss function* sebagai deviasi dari target karakteristik kualitas tertentu. Jika deviasi adalah nol, maka performa suatu produk atau proses berada pada nilai targetnya sehingga nilai kerugian juga nol. Nilai  $Y$  merepresentasikan deviasi dari nilai target, *loss function* dirumuskan sebagai berikut:

$$L(Y) = k (Y - Y_0)^2 \quad (2.11)$$

Keterangan:

$Y$  : karakteristik kualitas, misalnya dimensi, performa dan sebagainya

$Y_0$  : Nilai target untuk karakteristik kualitas

$k$  : Konstanta yang nilainya tergantung pada struktur biaya dari sebuah proses manufaktur atau organisasi

$(Y - Y_0)$  merepresentasikan deviasi karakteristik kualitas  $Y$  dari suatu nilai target  $Y_0$ , *loss function* memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Kerugian akan dinilai nol jika karakteristik kualitas sebuah produk mencapai nilai targetnya
2. Nilai kerugian akan meningkat cepat jika karakteristik kualitas menyimpang dari nilai target.
3. *Loss function* harus dalam bentuk fungsi kontinyu dari deviasi nilai target.

Sebuah produk dapat menghasilkan berbagai variasi karakteristik kualitas, jika variasinya kecil kualitas produk dapat diterima oleh konsumen. Rentang variasi ini

yang menjadi penerimaan konsumen, jika kualitas yang dihasilkan berada di luar rentang tersebut, konsumen tidak akan menerima produk dan perlu dilakukan tindakan perbaikan pada level desain atau proses, misalkan:

1. Zona toleransi ditulis dengan notasi:  $\pm \Delta$
2. Karakteristik kualitas kondisi ekstrim dinotasikan:  $Y_0 + \Delta$  dan  $Y_0 - \Delta$ .
3. Kualitas buruk yang harus diperbaiki, (misalnya biaya garansi):  $L_0$ .
4. Jika  $L_0$  ialah kerugian pada  $Y = Y_0 + \Delta$ , maka *loss function*-nya menjadi:

$$L_0 = k(Y_0 + \Delta - Y_0)^2 \quad (2.12)$$

$$\text{Sehingga perumusannya: } K = \frac{L_0}{\Delta_0^2} \quad (2.13)$$

## 2.8 ANOVA

*Analysis of Variance (ANOVA)* digunakan dalam mengolah dan menguji data hasil eksperimen. Teknik ini tidak langsung menganalisis data, tetapi hanya mengukur variabilitas atau varian dari data yang ada. Melalui teknik *ANOVA*, dapat diketahui varian dari faktor terkontrol dan faktor gangguan. Dengan mencari sumber dari varian tersebut, kondisi operasi yang kokoh (*robust*) dapat diprediksi. ANOVA adalah teknik statistik yang dikenal luas dan digunakan untuk menginterpretasikan hasil eksperimen dengan mendapatkan rasio kontribusi setiap parameter. ANOVA digunakan untuk menguji signifikansi setiap parameter terhadap permasalahan yang ingin dipecahkan. (Yuce, B, E., Nielsen, P, V., Wargocki, P. 2022)

Pada *Analysis of Variance*, terdapat berbagai kuantitas seperti *degree of freedom*, *sum of squares*, dan *mean squares*, yang disusun dalam format tabel standar. Pengertian dan hubungan kuantitas tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Menghitung nilai rata-rata untuk setiap level faktor.

Dalam eksperimen atau analisis varian (ANOVA), menghitung nilai rata-rata untuk setiap level faktor memiliki beberapa fungsi penting yaitu:

- a. Mengetahui pengaruh setiap level faktor rata-rata untuk setiap level faktor membantu memahami bagaimana setiap kategori faktor memengaruhi respons (*dependent variable*).
  - b. Membantu dalam menganalisis varian (ANOVA) rata-rata setiap level digunakan untuk menghitung *sum of squares between (SSB)*, yang mengukur variasi antara kelompok perlakuan, digunakan dalam uji F untuk menentukan apakah ada perbedaan signifikan antar level faktor.
  - c. Membantu visualisasi data rata-rata pada setiap level faktor, dapat menggunakan untuk membuat grafik, seperti *bar plot* atau *line plot*, untuk memahami tren data secara lebih jelas.
2. Penghitungan total (*total sum of square*)
- Dalam analisis varian *total sum of squares (SS Total)* adalah ukuran total variasi dalam data. Fungsinya meliputi:
- a. Mengukur variasi keseluruhan dalam data  
 SS Total menggambarkan seberapa jauh setiap pengamatan menyimpang dari rata-rata keseluruhan. Ini mencerminkan total variasi dalam dataset sebelum mempertimbangkan efek faktor atau perlakuan.
  - b. Mendekomposisi variasi dalam ANOVA  
 SS Total dibagi menjadi *SS Between* (antara kelompok) dan *SS Within* (dalam kelompok). Di mana *SS Between (SS Treatment)* mengukur variasi yang disebabkan oleh faktor yang diuji. Sedangkan *SS Within (SS Error)* mengukur variasi yang tidak dapat dijelaskan oleh faktor tersebut (*error*).
  - c. Membantu dalam uji statistik  
 SSTotal digunakan untuk menghitung *mean square (MS)* dan nilai F pada uji ANOVA, agar diketahui adanya perbedaan signifikan antar kelompok.
3. Penghitungan nilai varian dari setiap percobaan.
- Varian adalah ukuran statistik yang menggambarkan seberapa jauh data tersebar dari nilai rata-rata. Penghitungan varian sangat penting untuk:
- a. Menentukan konsistensi data. Varian kecil berarti data lebih homogen dan hasil eksperimen lebih konsisten. Varian besar berarti data lebih menyebar, menunjukkan variasi tinggi antar percobaan.

- b. Menganalisis stabilitas percobaan. Dalam eksperimen yang diulang, variance menunjukkan seberapa stabil hasilnya disetiap uji coba.
  - c. Menilai pengaruh faktor dalam eksperimen. Varian antar kelompok membantu memahami pengaruh perlakuan. Dalam ANOVA, varian digunakan untuk membandingkan variasi dalam dan antar kelompok.
4. Penghitungan *sum of squares due to mean (SS mean)*
- Sum of squares due to mean (SS Mean)* adalah jumlah kuadrat yang dihasilkan oleh rata-rata keseluruhan dataset dalam analisis varian. Ini mengukur kontribusi rata-rata keseluruhan terhadap total variasi dalam data.
- a. Mengukur variasi yang disebabkan oleh mean keseluruhan. *SS Mean* menunjukkan seberapa besar rata-rata keseluruhan memengaruhi variasi data. Ini penting dalam ANOVA dengan desain yang lebih kompleks, di mana kita ingin membedakan efek rata-rata dari efek faktor tertentu.
  - b. Jika *SS Mean* tinggi, itu menunjukkan bahwa rata-rata keseluruhan memberikan kontribusi besar terhadap variasi data.
5. Penghitungan untuk setiap *sum of squares due to factors (SS factor)*
- Sum of squares due to factors (SS Factor)* dalam analisis varian adalah ukuran variasi yang disebabkan oleh faktor atau perlakuan yang sedang diuji. Ini menunjukkan seberapa besar faktor tertentu memengaruhi hasil dalam eksperimen. Mengukur pengaruh faktor terhadap variasi data, diantaranya:
- a. *SS factor* membantu menentukan apakah variasi dalam data dipengaruhi oleh faktor tertentu atau hanya disebabkan oleh variasi acak (*error*).
  - b. Jika *SS factor* besar dibandingkan *SS Error*, maka faktor yang diuji memiliki pengaruh signifikan.
6. Penghitungan *Sum of squares due to error (SS e)*
- Sum of Squares Due to Error (SS Error)*, juga disebut *Sum of Squares Within (SSW)* atau *Residual Sum of Squares (RSS)*, adalah ukuran variasi yang terjadi didalam kelompok atau antar individu dalam satu kelompok yang tidak dapat dijelaskan oleh faktor perlakuan dalam analisis varian. Mengukur variasi yang tidak dijelaskan oleh faktor.

- a. *SS Error* menunjukkan seberapa besar variasi dalam data yang bukan akibat perlakuan atau faktor yang diuji.
  - b. Jika *SS Error* besar, berarti terdapat banyak variasi dalam kelompok, yang disebabkan oleh faktor acak atau variabel lain yang tidak dikendalikan.
7. Penghitungan derajat bebas (*DfA*)
 

Derajat bebas (*Degrees of Freedom*) adalah jumlah nilai dalam penghitungan statistik yang dapat bervariasi secara bebas sebelum nilai-nilai tersebut dikunci oleh batasan tertentu. Dalam analisis varian, *DF* digunakan untuk menentukan signifikansi statistik dari hasil uji. Menentukan variabilitas data:

  - a. *DF* menggambarkan seberapa banyak informasi yang tersedia untuk mengestimasi varian dalam dataset.
  - b. *DF* menentukan akurasi estimasi varian, semakin besar *DF*, semakin andal estimasi variannya
8. Penghitungan *Mean sum of squares (MS factor)*

*Mean Sum of Squares for Factor (MS Factor)* dalam analisis varian adalah ukuran varian yang disebabkan oleh faktor atau perlakuan yang diuji. *MS Factor* digunakan dalam penghitungan *F-Ratio* untuk menentukan apakah perbedaan antar kelompok signifikan atau hanya akibat variasi acak. Menunjukkan variasi yang disebabkan oleh faktor.

  - a. *MS Factor* mengukur seberapa besar faktor atau perlakuan memengaruhi hasil dibandingkan dengan variasi dalam kelompok.
  - b. Jika nilai *F* besar, maka perbedaan antar kelompok signi
  - c. Semakin besar *MS Factor* dibandingkan dengan *MS Error*, semakin kuat bukti bahwa perlakuan atau faktor memiliki efek signifikan.
9. Penghitungan *Pure sum of squares*

Dalam analisis varian adalah ukuran variasi yang dihasilkan oleh faktor yang sedang diuji, tanpa dipengaruhi interaksi antar faktor atau *error* dalam data.

  - a. Menentukan variasi murni akibat faktor yang diteliti. *SS Pure* membantu mengisolasi dampak faktor tertentu dalam eksperimen dengan menghilangkan efek *error* atau variabel lain yang tidak terkontrol.

- b. Menghitung pengaruh faktor secara individual. Dalam desain eksperimen dengan lebih dari satu faktor, *SS Pure* digunakan untuk memisahkan kontribusi masing-masing faktor tanpa efek interaksi antar faktor.
- c. Digunakan dalam desain eksperimen (rancangan faktorial & rancangan acak). *SS Pure* dalam rancangan faktorial berfungsi untuk membandingkan efek murni faktor tunggal terhadap hasil eksperimen. Dalam rancangan acak kelompok atau rancangan faktorial *SS Pure* sering digunakan untuk membedakan antara efek perlakuan dan *error* eksperimen.

#### 10. Penghitungan *F-Ratio*

*F-Ratio* dalam *analysis of variance* adalah statistik yang digunakan untuk membandingkan variabilitas antara kelompok dengan variabilitas dalam kelompok. Ini digunakan untuk menguji signifikansi statistik dari perbedaan rata-rata antar kelompok dalam eksperimen.

- a. Menentukan signifikansi perbedaan antar kelompok  

*F-Ratio* bernilai besar menunjukkan bahwa perbedaan antar kelompok lebih besar dibandingkan dengan variasi dalam kelompok, sehingga kemungkinan ada perbedaan signifikan antar kelompok. Jika *F-Ratio* kecil, maka perbedaan antar kelompok juga kecil dibandingkan dengan variasi dalam kelompok, sehingga perbedaan bisa terjadi secara kebetulan.
- b. Menggunakan distribusi *f* untuk uji hipotesis
  - 1) Hipotesis nol ( $H_0$ ). Tidak ada perbedaan nyata antar kelompok
  - 2) Hipotesis alternatif ( $H_a$ ). Minimal ada satu kelompok yang berbeda secara signifikan.
  - 3) Jika *F-Ratio* lebih besar dari nilai kritis *F* dari tabel, maka ( $H_0$ ) ditolak, artinya ada perbedaan signifikan antar kelompok.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Objek Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di area kontraktor pertambangan batubara PT ABC, merupakan kontraktor pertambangan yang bertanggung jawab atas proses operasional penambangan. Lokasi perusahaan berada di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Objek penelitian difokuskan pada satuan kerja di Departemen Produksi, yang memiliki tanggung jawab atas kelancaran operasional penambangan batubara. Sekilas, PT ABC merupakan salah satu kontraktor pertambangan terbesar di Indonesia, dengan area kerja yang tersebar di wilayah Sumatera Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Timur. Perusahaan ini memiliki komitmen kuat terhadap keberlanjutan lingkungan dengan menerapkan standar *Environmental, Social, and Governance* (ESG), terutama dalam efisiensi operasional pada aspek penggunaan bahan bakar.

Adapun daftar unit operasional yang dimiliki meliputi *loader, hauler, drilling, bulldozer, motor grader*, dan unit alat berat pendukung lainnya. Unit yang menjadi objek penelitian adalah *hauler jenis dump truck HD785*, yaitu alat angkut berat berkapasitas besar yang mampu mengangkut beban muatan hingga 120 ton.



Gambar 3.1 Peta tambang objek penelitian  
(PT. Pamapersada Nusantara 2024)



Gambar 3.2 Peta *orthophoto* tambang objek penelitian  
(PT. Pamapersada Nusantara 2024)

### 3.2 Pengumpulan Data

Jenis data penelitian ini menggunakan data sekunder. Berikut adalah penjabarannya, dalam penelitian ini beberapa data, diantaranya:

1. Data jumlah konsumsi bahan bakar
2. Data produktivitas (*productivity*) unit
3. Data kemiringan jalan (*inclination*) yang dilalui oleh unit
4. Data kecepatan (*travel speed*)
5. Data durasi *economy mode on*
6. Data berat rata-rata muatan (*payload*) yang diangkut

Data-data diatas diperoleh dari pencatatan sistem *EwacsPro* yang sudah diintegrasikan kedalam sistem *recording* di unit *dump truck* HD785, sedangkan untuk data kemiringan jalan diperoleh dari integrasi sistem dengan aplikasi *EwacsPro* dan perangkat *FECO (Fuel Economy Controller)*. Semuanya secara umum data dapat diambil pada basis data perusahaan.

#### 3.2.1 Pengumpulan data

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini terbagi dalam empat metode yaitu studi pustaka, observasi, studi dokumen dan wawancara, diantaranya:

1. Studi Pustaka (*Literature Review*)

Tinjaun pustaka ini disusun untuk sebagai dasar untuk pengembangan pengetahuan serta membuat pedoman untuk kebijakan dan praktik. Jika hal tersebut dilakukan dengan baik, maka tinjauan literatur bisa memiliki suwandi kapasitas untuk melahirkan ide dan arahan baru untuk bidang tertentu.

2. Observasi

Dalam penelitian ini dilakukan observasi dengan melakukan pengamatan secara langsung dan eksperimen pada lokasi tempat penelitian untuk mendapatkan data operasional.

3. Studi Dokumen

Mengumpulkan dan memeriksa dokumen terkait dengan operasional dan sistem kerja *dump truck* dilapangan, lalu membandingkan dengan data-data hasil eksperimen.

#### 4. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan narasumber dari pihak stakeholder yang terlibat dalam proses operasional unit diantaranya operator, data analysis, data engineer dan para pimpinan. Wawancara yang terbaik dilakukan ialah dengan cara tatap muka secara langsung. Hal tersebut baik dilakukan karena ada interaksi kompleks yang terjadi selama proses wawancara berlangsung.

### 3.2.2 Metode pengolahan data

Tahapan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

#### 1. Tahap pertama

Pengambilan data konsumsi bahan bakar dan *productivity* unit. Lalu, pengkondisian unit dengan menempatkan operasional unit pada perlakuan eksperimen tertentu terkait faktor *economy mode on*, *inclination*, *payload* dan *travel speed* sesuai parameter yang telah ditentukan.

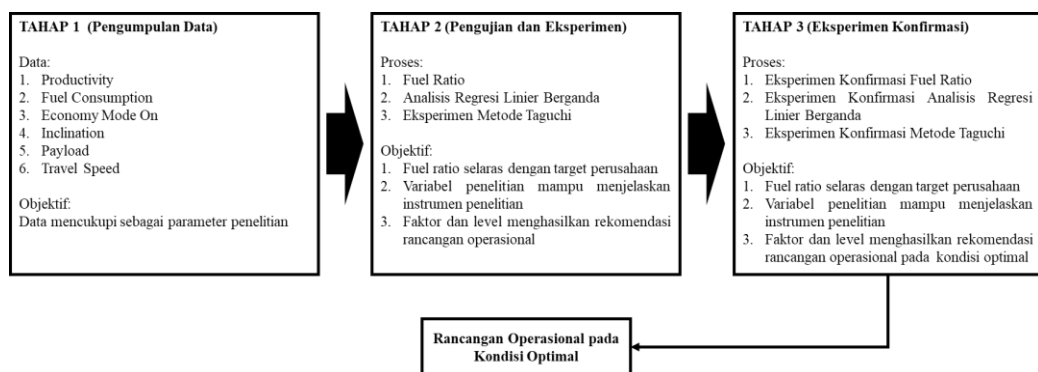
#### 2. Tahap kedua

Melakukan uji eksperimen terhadap unit dengan pengkondisian unit dan lokasi kerja sesuai dengan skenario diatas.

#### 3. Tahap ketiga

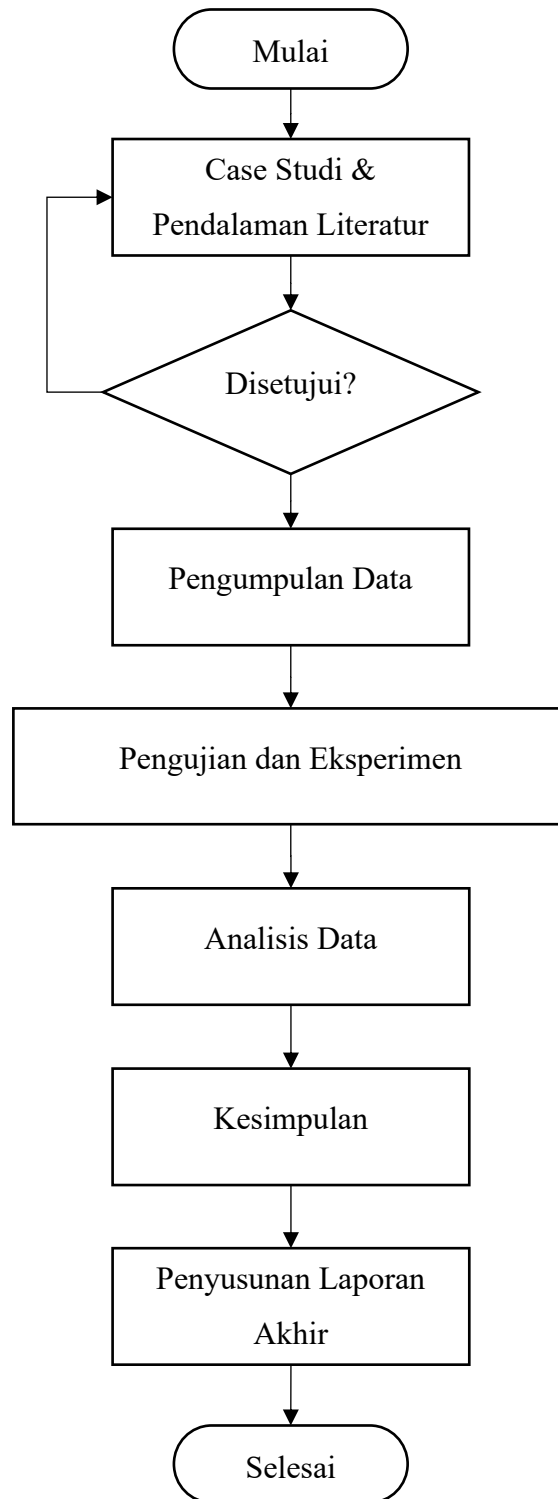
Mengumpulkan data-data hasil eksperimen untuk menghitung melihat hasil eksperimen yang dapat dijadikan rekomendasi rancangan operasional *dump truck* HD785 yang berkaitan dengan konsumsi bahan bakar.

Penelitian ini dibagi dalam tiga tahapan dengan skema sebagai berikut:



Gambar 3.3 Skema Penelitian

Diagram alir metodologi penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram alir metodologi penelitian

### 3.3 Fuel Ratio

Untuk mengukur efisiensi penggunaan bahan bakar dari operasional *dump truck* HD785, dari data parameter dari efisiensi bahan bakar yang dinyatakan dalam *fuel ratio* akan menjadi obyek pengambilan data aktual. Data aktual tersebut diambil dari catatan pusat pangkalan data yang sudah divalidasi melalui sistem integrasi antara perangkat VHMS (*Vehicle Health Monitoring sistem*) yang terhubung dengan aplikasi *EwacsPro* melalui jaringan.

Tabel 3.1 Parameter kinerja *fuel ratio*

| No  | Code Number | Fuel Consumption (l/h) | Productivity (bcm/h.km) | Fuel Ratio |
|-----|-------------|------------------------|-------------------------|------------|
| 1   |             |                        |                         |            |
| 2   |             |                        |                         |            |
| 3   |             |                        |                         |            |
| 4   |             |                        |                         |            |
| 5   |             |                        |                         |            |
| 6   |             |                        |                         |            |
| 7   |             |                        |                         |            |
| 8   |             |                        |                         |            |
| 9   |             |                        |                         |            |
| 10  |             |                        |                         |            |
| ... |             |                        |                         |            |
| Dst |             |                        |                         |            |
| 27  |             |                        |                         |            |

Sesuai pada Bab Tinjauan Pustaka, maka data yang diambil untuk mengetahui *fuel ratio* meliputi *fuel consumption* (liter/hours) dan *productivity* (bcm/h.km), selanjutnya dilakukan dikalkulasi kedalam penentuan jumlah *fuel ratio*. Standar *fuel ratio* yang ditetapkan oleh manajemen perusahaan PT. ABC untuk produktivitas 231 bcm/km.h, *fuel consumption* 76 l/h dan *fuel ratio* 0,33.

### 3.4 Analisis Regresi Linier Berganda

Melalui analisis regresi linier berganda ini, akan diperoleh gambaran mengenai besar pengaruh dan arah hubungan antara *productivity* dengan *fuel consumption*

terhadap *fuel ratio*, serta akan dilakukan pengujian ulang setelah dilakukan perbaikan melalui eksperimen pengujian. Olah data analisis regresi linier berganda dibantu dengan *software* SPSS. Regresi linier berganda yang disimulasikan pada bagian ini, akan dibagi menjadi lima tahapan, yaitu:

1. Persiapan data (tabulasi data) dan estimasi model
2. Pengujian asumsi klasik
3. Uji kelayakan model (*goodness of fit model*)
4. Interpretasi model regresi linier

Setelah data dimasukkan kedalam perangkat lunak SPSS, maka langkah selanjutnya adalah melakukan estimasi (pendugaan) model (persamaan) regresi linier, lalu dilanjutkan dengan pengujian asumsi klasik meliputi uji *normalitas*, *heteroskedastisitas* dan *autokorelasi*. Tahap terakhir dari bagian ini adalah uji hipotesis (uji kelayakan mode) untuk menginterpretasikan model apakah memiliki pengaruh terhadap obyek penelitian.

#### 3.4.1 Persiapan data dan estimasi model

1. Persiapan data (tabulasi data)

Data-data penelitian menggunakan data sekunder yang didapat dari pusat pangkalan data perusahaan PT. ABC, meliputi data variabel bebas terdiri dari *fuel consumption* dan *productivity*, sedangkan data variabel terikat berupa *fuel ratio*. Setelah variabel diklasifikasikan dan diidentifikasi, maka variabel tersebut didefinisikan secara operasional, agar definisi operasional dapat menunjukkan alat pengambil data mana yang tepat untuk digunakan dalam penelitian ini. Setelah data dari tiap-tiap variabel bebas dan variabel terikat didapatkan, kemudian data tersebut diolah menggunakan perangkat lunak SPSS, variabel yang akan diolah dalam regresi linier ini adalah:

- a. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Variabel yang menjelaskan atau dipengaruhi oleh *dependent variable* berupa *fuel ratio* (Y). *Fuel ratio*, merupakan perbandingan antara total konsumsi bahan bakar dengan total produksi yang dihasilkan pada waktu operasi dalam

waktu tertentu, jadi dengan kata lain *fuel ratio* adalah jumlah bahan bakar (liter) yang dikeluarkan untuk mendapatkan 1 *bcm overburden* atau 1 ton batubara.

b. Variabel bebas (*Independent Variable*)

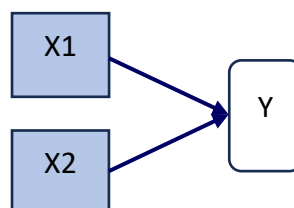
Variabel bebas terdiri dari:

✓ *Fuel Consumption*

Variabel pertama yang memengaruhi *fuel ratio*, adalah konsumsi bahan bakar (X1). Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan, mesin, atau jenis mesin lainnya selama beroperasi. Konsumsi bahan bakar dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis bahan bakar yang digunakan, ukuran dan berat kendaraan, desain mesin dan kondisi berkendara.

✓ *Productivity*

Variabel kedua yang memengaruhi *fuel ratio*, berupa pencapaian hasil *productivity* (X2). *Productivity* adalah total material yang di tambang baik dalam satuan bcm (*bank cubic meter*) maupun *tonnes* pada periode tertentu. Misal, produksi sehari (24 Jam), seminggu (7 hari), sebulan maupun setahun. Bahasa sederhananya adalah berapa banyak material baik ore maupun *waste* yang di tambang dalam sehari, seminggu, sebulan atau setahun. Dalam penelitian ini material yang dijadikan obyek penelitian adalah material *waste*.



Gambar 3.5 Regresi linier berganda

2. Estimasi model regresi linier berganda

Dalam implementasinya estimasi model dilakukan secara bersamaan dengan pengujian asumsi klasik yang terdiri dari uji *normalitas*, uji *multikolinieritas*, uji

*heterokedastisitas*, dan uji *autokorelasi*. Hasil dari pengolahan dapat digunakan untuk mengartikan uji asumsi klasik dan uji kelayakan model secara bersamaan.

#### 3.4.2. Uji asumsi klasik

Uji asumsi klasik adalah analisis yang dilakukan untuk menilai apakah didalam sebuah model regresi linier *Ordinary Least Square* (mencari hubungan linier antara satu variabel dependen (Y) dengan satu atau lebih variabel independen (X), terdapat masalah-masalah asumsi klasik.

##### 1. Uji *multikolinieritas*

Uji multikolinieritas dilakukan untuk menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas dalam data yang akan disetimasi. Untuk menguji *multikolinieritas* dengan cara melihat nilai VIF masing-masing variabel independen, jika nilai  $VIF < 10$ , maka dapat disimpulkan bahwa data bebas dari gejala *multikolinieritas*.

##### 2. Uji *autokorelasi*

Langkah ini bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi linier terdapat korelasi antara kesalahan pengganggu pada periode t dengan kesalahan pengganggu pada periode t-1 (sebelumnya). Untuk mendeteksi ada atau tidak korelasi, perlu dilakukan pengujian *Durbin-Watson* (D – W) dengan ketentuan sebagai berikut (Iba, Z., Wardhana, A. (2024):

- a. Angka D – W dibawah -2 ada autokorelasi positif.
- b. Angka D – W diantara -2 sampai +2, berarti tidak ada autokorelasi.
- c. Angka D – W diatas +2, berarti ada autorelasi negatif

##### 3. Uji *heterokedastisitas*

Uji asumsi ini bertujuan untuk mengetahui apakah dalam sebuah model regresi terjadi ketidaksamaan varians dari residual antara satu pengamatan dengan pengamatan yang lain. *Heteroskedaktisitas* adalah perbedaan varians dari residual antara satu pengamatan dengan pengamatan yang lain, dikatakan model yang baik jika tidak terjadi heteroskedaktisitas. *Heteroskedaktisitas* diuji dengan menggunakan uji koefisien korelasi *Rank Spearman* yaitu mengkorelasikan antara *absolut residual* hasil regresi dengan semua variabel

bebas. Apabila signifikansi hasil korelasi lebih kecil dari 0,05 (5%) maka persamaan regresi tersebut mengandung *heteroskedastisitas* dan sebaliknya berarti *homokedastisitas*.

#### 4. Uji *normalitas*

Uji *normalitas* digunakan untuk menguji apakah didalam model regresi, residual memiliki distribusi normal. Di mana uji t dan F berarti bahwa nilai residual mengikuti distribusi normal. Jika asumsi ini diabaikan maka uji statistik akan menjadi tidak valid untuk jumlah sampel yang kecil. Metode yang digunakan untuk menguji normalitas adalah dengan menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test*. Dikatakan residual berdistribusi normal, apabila memiliki nilai signifikansi  $> 0,05$ .

#### 3.4.3 Uji kelayakan model

Uji kelayakan model adalah proses untuk menilai apakah model regresi yang dibangun secara keseluruhan layak digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel independen (X) dan variabel dependen (Y). Bertujuan untuk mengetahui apakah seluruh variabel bebas secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat.

##### 1. Uji simultan (uji F)

Uji simultan digunakan untuk menguji pengaruh semua variabel independent yang dimasukkan ke dalam model mempunyai pengaruh secara bersama-sama terhadap variabel dependen, dengan tingkat signifikansi sebesar 5% atau 0,05. Berikut langkah-langkah uji simlutan F:

Rumus hipotesis sebagai berikut:

- a.  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$  (tidak ada pengaruh semua X terhadap Y)
- b.  $H_1$ : Minimal satu  $\beta_i \neq 0$  (ada pengaruh minimal satu X terhadap Y)

Menentukan daerah kritis  $H_0$  diterima jika:

- a.  $F_{hitung} \leq F_{table}$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak, berarti tidak ada pengaruh simultan oleh variable X dan Y.
- b.  $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima, berarti ada pengaruh yang simultan terhadap variable X dan Y.

## 2. Uji parsial (uji t)

Uji parsial digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independent ( $X_1$ ,  $X_2$ , ...) terhadap variabel dependen ( $Y$ ), secara parsial memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen ( $Y$ ). Tingkat signifikansi sebesar 0,05 ( $\alpha = 5\%$  atau dengan tingkat keyakinan 0,95). Rumus hipotesis sebagai berikut:

- a.  $H_0: \beta_i = 0$  (tidak ada pengaruh signifikan  $X_1$  terhadap  $Y$ )
- b.  $H_1: \beta_i \neq 0$  (ada pengaruh signifikan  $X_1$  terhadap  $Y$ )

Daerah keputusan menerima  $H_0$  atau menerima  $H_1$ , memutuskan hipotesis

- a.  $H_0$  : diterima jika  $t \text{ hitung} \leq t \text{ tabel}$
- b.  $H_a$  : diterima jika  $t \text{ hitung} \geq t \text{ tabel}$

## 3. Koefisien *determinasi* ( $R^2$ )

Digunakan untuk mengukur sejauh mana model dalam menerangkan variasi variabel terikat, dengan nilai 0 – 1, yang kecil berarti kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan variasi variabel terikat secara terbatas. Nilai yang mendekati satu berarti variabel bebas memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi variabel terikat.

### 3.4.4 Interpretasi model

Secara umum interpretasi model mencakup beberapa hal berikut:

#### 1. Memahami hubungan antar variabel

Menjelaskan hubungan variabel independen ( $X$ ) memengaruhi variabel dependen ( $Y$ ). Apakah hubungannya positif, negatif, signifikan atau tidak.

#### 2. Menafsirkan koefisien model

Dalam model regresi, koefisien menunjukkan seberapa besar perubahan pada  $Y$  untuk setiap satu unit perubahan pada  $X$ , dengan asumsi variabel lain tetap.

#### 3. Menilai kekuatan model

Dilihat dari nilai-nilai seperti *R-squared*, *Adjusted R-squared*, *p-value*, dan *error*, untuk menilai seberapa baik model menjelaskan data.

#### 4. Menarik kesimpulan praktis

Menghubungkan hasil model dengan permasalahan, apakah hasil tersebut berguna dalam pengambilan keputusan atau mendukung hipotesis penelitian.

### 3.5 Desain Parameter Taguchi

Tujuan utama penggunaan metode Taguchi (1987), ini adalah untuk mendapatkan desain produk atau proses terbaik sedemikian rupa hingga produk atau proses menjadi sangat tidak sensitif terhadap faktor-faktor penyebab variabilitas. Desain parameter merupakan satu dari tiga langkah pada desain proses Taguchi, yang bertujuan untuk mengurangi variasi proses atau meningkatkan kapabilitas proses dengan menentukan kondisi operasional yang optimum, yaitu kondisi yang tahan terhadap semua faktor pengganggu (Suryaningsih, 2010). Berikut ini merupakan tahap-tahap yang dilakukan pada saat pengumpulan data.

#### 1. Penentuan variabel tak bebas (respon kualitas)

Yang dimaksud dengan variabel tak bebas adalah suatu variabel dimana perubahannya tergantung dari variabel-variabel lainnya atau disebut dengan variabel respon. Perencanaan eksperimen harus ditentukan dengan jelas mana variabel tak bebas yang akan diselidiki. Penelitian ini menetapkan variabel respon kualitas dari keluaran proses yang menjadi indikasi tingkat kualitas dari proses ini adalah rendahnya konsumsi bahan bakar. Penentuan variabel bebas didasarkan dari kebijakan target konsumsi bahan bakar oleh manajemen perusahaan sebesar 76 liter/jam. Dengan demikian respon kualitas dalam penelitian ini adalah konsumsi bahan bakar.

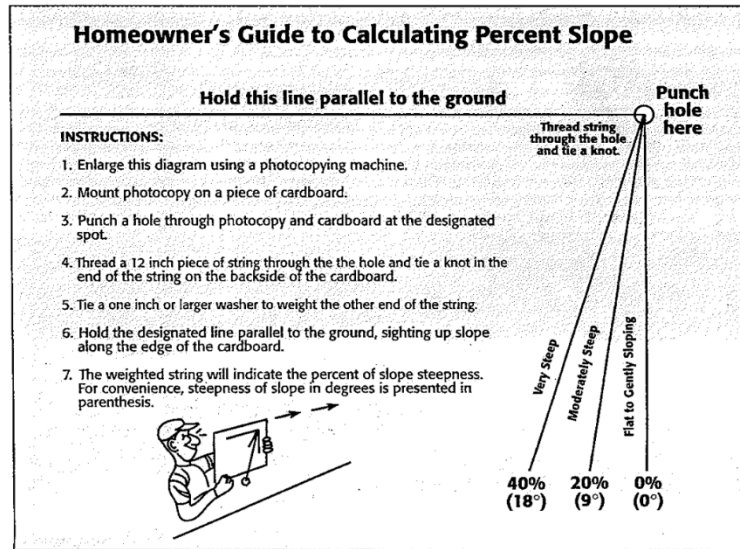
#### 2. Penentuan variabel bebas (faktor)

Pengertian dari variabel bebas adalah suatu variabel dimana perubahannya tidak tergantung oleh variabel lain atau disebut dengan faktor. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah faktor-faktor yang memengaruhi respon kualitas yang telah ditentukan yaitu *fuel ratio*. Untuk mendapatkan faktor-faktor yang dianggap paling memengaruhi respon kualitas, faktor tersebut didapatkan dari kesimpulan pada penelitian terdahulu seperti yang sudah dipaparkan pada Bab Tinjauan Pustaka. Berikut faktor-faktor yang diasumsikan paling memengaruhi respon kualitas yang menjadi objek penelitian ini adalah:

- a. *Economy Mode On (hours)*, merupakan sistem yang dapat mengatur jumlah konsumsi bahan bakar. Ketika *economy mode* tidak aktifkan maka unit akan bekerja dengan model *power mode*, hal ini berarti bahwa

konsumsi bahan bakar akan lebih banyak jika dibandingkan dengan *economy mode on*. Dengan durasi aktif yang lama pada kondisi *economy mode on*, maka jumlah konsumsi bahan bakar akan lebih sedikit, jika dibandingkan dengan kondisi *power mode on*. Maka dari itu faktor ini diambil sebagai variabel eksperimen karena dengan pengaturan *economy mode on*, maka jumlah konsumsi bahan bakar dapat ditekan serendah mungkin menyesuaikan daya yang diperlukan oleh mesin tanpa mengurangi kemampuan mesin dalam beroperasi. Dengan kata lain *economy mode on* mampu menyesuaikan kebutuhan daya dengan bahan bakar yang diperlukan, sehingga konsumsi bahan bakar tidak mengalami *over burner*. *Economy mode reduces fuel injection volume and engine speed under light load conditions to improve fuel consumption by up to 10 %* (Komatsu Operation & Maintenance Manual HD785-7., Komatsu Ltd., Tokyo, 2018).

- b. *Inclination (%)*, merupakan suatu bentuk dimensi kemiringan jalan yang dilalui oleh *dump truck* ketika beroperasi. Dalam teknik sipil, istilah *grade* mengacu pada kemiringan atau tanjakan jalan (*inclination*), yang krusial dalam menentukan bagaimana air mengalir dari permukaan dan memengaruhi pengendalian kendaraan. Kemiringan jalan (*inclination*), dinyatakan dalam bentuk persen, artinya bahwa dalam jarak 100 m terdapat ketinggian 10 m atau 10%. *Inclination* (kemiringan jalan) dinyatakan dalam persen (%), hal ini karena satuan ini dapat menunjukkan perbandingan vertikal terhadap jarak horizontal secara proporsional dan mudah dipahami tanpa harus melibatkan satuan panjang tertentu (meter, kilometer, dan sebagainya). Panduan untuk menentukan suatu kemiringan tanah dalam bentuk persen (%) (Whatcounty.com., 2025, 1 November). <https://www.whatcomcounty.us/DocumentCenter/View/489/Percent-Slope-Guide-PDF?bidId=>



Gambar 3.6 Panduan kalkulasi kemiringan dalam satuan persen (%)

- c. *Travel Speed (km/h)*, merupakan laju kecepatan unit dalam satuan km/jam. Unit dapat melaju dengan kecepatan konstan maupun berkecenderungan naik turun, hal dapat terjadi tergantung dari kondisi jalan dan kontrol oleh operator. Travel speed memengaruhi konsumsi bahan bakar karena:
- 1) Hambatan udara meningkat secara drastis (kuadratik) seiring dengan peningkatan kecepatan, memaksa mesin untuk mengeluarkan tenaga dan bahan bakar yang jauh lebih besar.
  - 2) Mesin dan transmisi memiliki rentang efisiensi optimal. Kecepatan yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan membuat *power train* bekerja di luar titik efisiensi terbaiknya.
  - 3) Tujuan operasional adalah efisiensi siklus, bukan kecepatan tertinggi. Mencapai kecepatan tertinggi seringkali mengorbankan efisiensi bahan bakar secara keseluruhan.
  - 4) Keselamatan dan kemampuan pengereman. Semakin unit berjalan dengan kecepatan tinggi, maka akan memaksa sistem rem bekerja lebih ekstrem, sekaligus dapat mengurangi faktor keselamatan kerja.
- Oleh karena itu, operator disarankan untuk mengemudi dengan kecepatan yang stabil dan tidak berlebihan, sesuai dengan rekomendasi pabrikan dan

kondisi medan, untuk mencapai konsumsi bahan bakar yang paling ekonomis. *Pentingnya operasi yang konstan dan menghindari kecepatan tinggi yang tidak perlu untuk menghemat bahan bakar dan mengurangi keausan komponen* (Komatsu Operation & Maintenance Manual HD785-7, Komatsu Ltd., Tokyo., 2018).

d. *Payload (tonnes)*, merupakan jumlah berat muatan yang dibawa unit dalam satuan ton dalam setiap satu kali pengangkutan. Payload memengaruhi konsumsi bahan bakar pada HD785-7 karena:

- 1) Hukum fisika dasar, muatan yang lebih berat membutuhkan energi yang jauh lebih besar, terlebih melewati area tanjakan (mengatasi inersia & gravitasi).
- 2) Hambatan gelinding meningkat, berat muatan secara langsung meningkatkan gaya gesekan antara ban dan jalan, yang harus diatasi oleh mesin.
- 3) Beban kerja mesin lebih tinggi, mesin dipaksa untuk beroperasi pada kondisi RPM dan torsi yang lebih tinggi, yang secara inheren lebih boros bahan bakar.
- 4) Kemampuan pengereman, beban yang berat dapat memacu munculnya gaya inersia dan kemampuan unit melakukan pengereman pada pergerakan unit.

Hubungan antara *payload* dan konsumsi bahan bakar bersifat langsung dan proporsional. Semakin berat muatan (*payload*), semakin tinggi konsumsi bahan bakar, dan sebaliknya. *Beban muatan unit sesuai kapasitas yang direkomendasikan untuk mencapai efisiensi operasi dan bahan bakar terbaik* (Komatsu Operation & Maintenance Manual HD785-7., Komatsu Ltd., Tokyo, 2018).

### 3. Penentuan jumlah level dan nilai level faktor

Dari hasil pengumpulan data yang diperiksa untuk mengetahui faktor parameter yang akan memengaruhi konsumsi bahan bakar. Dari pengamatan tersebut terdapat empat faktor yang memengaruhi konsumsi bahan bakar. Faktor-faktor tersebut adalah:

- 1) *Economy mode on* (durasi sistem ekonomi mode aktif). Data durasi aktif dari *economy mode on* dikelompokkan dalam tiga level yaitu  $\leq 5$ ,  $6 - 10$ , dan  $\geq 11$ , dalam satuan jam.
- 2) *Inclination* (kemiringan jalan yang dilewati). Data rata-rata kemiringan jalan yang dilalui dikelompokkan dalam tiga level yaitu  $\leq 3$ ,  $4 - 5$ , dan  $\geq 6$  dalam satuan %.
- 3) *Payload* (jumlah muatan). Data rata-rata muatan dikelompokkan dalam tiga level yaitu  $\leq 95$ ,  $91 - 95$ , dan  $\geq 96$  dalam satuan ton.
- 4) *Travel speed* (kecepatan unit). Data rata-rata kecepatan dikelompokkan dalam tiga level yaitu  $\leq 17$ ,  $18 - 21$ , dan  $\geq 22$  dalam satuan km/jam.

Keseluruhan data tersebut diperoleh dari pusat pangkalan data perusahaan dari hasil sistem pencatat unit VHMS (*Vehicle Health Monitoring System*) yang sudah terintegrasi pada unit tersebut. Dari hasil pengamatan diharapkan dapat menghasilkan *output* titik optimum efisiensi konsumsi bahan bakar *dump truck* HD785 dengan kombinasi operasional dari faktor-faktor tersebut. Empat faktor tersebut dijadikan proses inputan pengaturan skenario eksperimen perlakuan pada unit *dump truck* HD785, untuk melihat data dari respon kualitas konsumsi bahan bakar pada penelitian ini.

Tabel 3.2 Penentuan faktor dan level eksperimen

| Faktor                         | 1         | 2         | 3         |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Economy mode on (hours)</i> | $\leq 5$  | $6 - 10$  | $\geq 11$ |
| <i>Inclination (%)</i>         | $\leq 3$  | $4 - 5$   | $\geq 6$  |
| <i>Payload (tonnes)</i>        | $\leq 95$ | $91 - 95$ | $\geq 96$ |
| <i>Travel speed (km/h)</i>     | $\leq 17$ | $18 - 21$ | $\geq 22$ |

(Sumber: hasil eksperimen langsung oleh penulis)

Perbedaan-perbedaan perlakuan pada unit akan menghasilkan variasi jumlah konsumsi bahan bakar yang berbeda-beda. Maka melalui eksperimen perlakuan unit yang berbeda-beda ini, dapat menjadi jawaban terhadap faktor penyebab tinggi-rendahnya konsumsi bahan bakar.

### 3.5.1 Penentuan matrik *orthogonal array*

Matriks *orthogonal array* (OA) merupakan matriks *fractional factorial* yang menjamin perbandingan seimbang antara level pada setiap faktor maupun interaksi antar faktor. Penentuan matriks (OA) didasarkan pada jumlah faktor dan level yang digunakan dalam penelitian, dengan jumlah setiap faktor terdiri atas tiga level. Berdasarkan jumlah faktor dan level tersebut, melalui bantuan perangkat lunak minitab diperoleh kombinasi OA  $L_9(3^4)$ , dengan eksperimen yang dilakukan sebanyak sembilan kali percobaan.

Untuk menentukan OA yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan penghitungan derajat kebebasan (*degree of freedom*) dari masing-masing faktor dan level. Hasil penghitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan derajat kebebasan dari OA yang akan digunakan. Adapun penghitungan derajat kebebasan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Derajat kebebasan faktor dan level:

$$= (\text{jumlah faktor}) \times (\text{jumlah level} - 1) = 4 \times (3 - 1) = 8 \quad (3.1)$$

2. Derajat kebebasan  $L_9(3^4)$

$$= (\text{jumlah faktor}) \times (\text{jumlah level} - 1) = 4 \times (3 - 1) = 8 \quad (3.2)$$

Tabel 3.3 Kombinasi faktor dan level dalam eksperimen

| Eksperimen | Faktor dan level |   |   |   |
|------------|------------------|---|---|---|
|            | A                | B | C | D |
| 1          | 1                | 1 | 1 | 1 |
| 2          | 1                | 2 | 2 | 2 |
| 3          | 1                | 3 | 3 | 3 |
| 4          | 2                | 1 | 2 | 3 |
| 5          | 2                | 2 | 3 | 1 |
| 6          | 2                | 3 | 1 | 2 |
| 7          | 3                | 1 | 3 | 2 |
| 8          | 3                | 2 | 1 | 3 |
| 9          | 3                | 3 | 2 | 1 |

Ketentuan dalam memilih OA yang sesuai dengan eksperimen adalah OA yang memiliki derajat kebebasan lebih besar atau sama dengan derajat kebebasan faktor dan level eksperimen. Maka, OA yang tepat untuk eksperimen ini adalah  $L_9(3^4)$ , terdiri dari 4 faktor kontrol dan 3 faktor gangguan. Faktor kontrol ditempatkan pada kolom *inner array*, sedangkan faktor *ouput* ditempatkan pada *outer array*-nya. Berikut rancangan *output* dari eksperimen:

Tabel 3.4 Keluaran hasil eksperimen

| Eksperimen | Faktor kontrol ( <i>inner array</i> ) |   |   |   | Keluaran ( <i>outer array</i> ) |    |    |
|------------|---------------------------------------|---|---|---|---------------------------------|----|----|
|            | A                                     | B | C | D | N1                              | N2 | N3 |
| 1          | 1                                     | 1 | 1 | 1 |                                 |    |    |
| 2          | 1                                     | 2 | 2 | 2 |                                 |    |    |
| 3          | 1                                     | 3 | 3 | 3 |                                 |    |    |
| 4          | 2                                     | 1 | 2 | 3 |                                 |    |    |
| 5          | 2                                     | 2 | 3 | 1 |                                 |    |    |
| 6          | 2                                     | 3 | 1 | 2 |                                 |    |    |
| 7          | 3                                     | 1 | 3 | 2 |                                 |    |    |
| 8          | 3                                     | 2 | 1 | 3 |                                 |    |    |
| 9          | 3                                     | 3 | 2 | 1 |                                 |    |    |

### 3.5.2 Penghitungan *S/N Ratio* hasil eksperimen

*Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara *signal* dan *noise* dari suatu parameter kendali. Dengan mentransformasikan hasil eksperimen dari nilai *output* yang didapat untuk setiap kombinasi faktor dan level kedalam *Signal to Noise Ratio*. Nilai kekuatan *signal* dan *noise* digantikan dengan nilai estimasi rata-rata dan variasi melalui penghitungan *S/N Ratio* ini, agar dapat diminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan (*noise*). Nilai *S/N Ratio* yang tinggi berarti (baik) semakin kecil variasi karakteristik kualitas disekitar nilai target atau semakin kuatnya suatu proses terhadap faktor gangguan (*noise*). Kategori kualitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah *smaller is better*, di mana dari hasil eksperimen konsumsi bahan bakar yang lebih rendah akan dijadikan ukuran standar

operasional *dump truck* HD785. Jika pencapaian nilai mendekati nilai target yang telah ditetapkan, maka kualitasnya semakin baik. Mengingat data yang ingin didapatkan adalah nilai paling rendah (meminimalkan *output*) yaitu jumlah konsumsi bahan bakar, maka karakteristik yang digunakan sebagai persamaannya adalah tipe *smaller is better*. Berikut hasil penghitungan *S/N Ratio*, untuk setiap kombinasi faktor dan level pada eksperimen jumlah konsumsi bahan bakar.

$$SN\ Ratio = -10 \times \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.3)$$

### 3.5.3 Menghitung *analysis of variance* (ANOVA)

Untuk mendapatkan nilai rata-rata digunakan penghitungan dengan metode ANOVA. Dimulai dengan menghitung nilai rata-rata semua hasil eksperimen sampai pada penghitungan persen kontribusi dari setiap eksperimen. Adapun urutan proses penghitungan adalah dengan menentukan nilai pada:

1. Menghitung nilai rata-rata untuk setiap level faktor.

Pada tahapan penghitungan ini untuk setiap level faktor dihitung dengan rumus

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$\bar{y}$  : Nilai rata-rata untuk setiap level faktor

$y$  : Hasil eksperimen

$n$  : Jumlah level faktor

2. Penghitungan total (*total sum of square*) jumlah konsumsi bahan bakar pada setiap level

$$SS\ total = \sum y^2 \quad (3.5)$$

Keterangan:

$y$  : Jumlah data hasil eksperimen

3. Penghitungan nilai *variance* dari setiap percobaan. Contoh *fuel rate variance* untuk eksperimen 1:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.6)$$

Keterangan:

$\sigma^2$  : Variance

n : Jumlah level faktor

$\bar{y}$  : Nilai rata-rata untuk setiap level faktor

y : Hasil eksperimen

4. Penghitungan *sum of squares due to mean (SS mean)*

$$SS \text{ mean } (Sm) = n \bar{y}^2 \quad (3.7)$$

Keterangan:

n : Jumlah level faktor

$\bar{y}$  : Nilai rata-rata untuk setiap level faktor

5. Penghitungan untuk setiap *sum of squares due to factors (SS factor)*

*Sum of square* merupakan ukuran simpangan eksperimen dari nilai *mean* sebuah data. Berikut formulanya:

$$SS_A = (nA \times \overline{A1^2}) + (nA \times \overline{A2^2}) + (nA \times \overline{A3^2}) - Sm \quad (3.8)$$

Keterangan:

SS: *Sum of square*

n : Jumlah percobaan

A : Hasil faktor setiap level

$A_{123}$  : Data ke – i

6. Penghitungan *Sum of squares due to error (SS e)*

$$SSe = SS_{total} - S_m - (SSA + SSB + SSC + SSD) \quad (3.9)$$

7. Penghitungan derajat bebas (DFA)

$$DFA = \text{jumlah level} - 1 \quad (3.10)$$

8. Penghitungan *mean sum of squares (MS factor)*

$$MS \text{ factor} = \frac{SS \text{ factor}}{DF \text{ factor}} \quad (3.11)$$

9. Penghitungan *Pure sum of squares*

$$SS'B = SS_{faktor} - (DF_{faktor} \times MS_{error}) \quad (3.12)$$

Sedangkan untuk menghitung faktor error menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SS'e = SS'T - \sum SS \quad (3.13)$$

Keterangan:

SST : Jumlah semua SS faktor

10. Penghitungan *F-Ratio*

*F-Ratio* dilakukan untuk melihat apakah ada perbedaan-perbedaan yang secara signifikan pada faktor-faktor dan interaksi antar faktor. Rumus uji *F-Ratio* sebagai berikut:

$$MS \text{ Ratio} = \frac{MS \text{ factor}}{MS \text{ error}} \quad (3.14)$$

Dari perolehan data diatas kemudian dimasukkan alam format Tabel 3.4 yang nantinya akan dilanjutkan untuk penghitungan penentuan keputusan.

Tabel 3.5 Format hasil penghitungan ANOVA rata-rata

| Label   | <i>SS</i> | <i>DF</i> | <i>MS</i> | <i>F Ratio</i> | <i>SS'</i> | <i>Ratio %</i> | <i>F Tabel</i> |
|---------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------|----------------|----------------|
| A       |           |           |           |                |            |                |                |
| B       |           |           |           |                |            |                |                |
| C       |           |           |           |                |            |                |                |
| D       |           |           |           |                |            |                |                |
| Error   |           |           |           |                |            |                |                |
| SST     |           |           |           |                |            |                |                |
| Mean    |           |           |           |                |            |                |                |
| SSTotal |           |           |           |                |            |                |                |

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas pencapaian *fuel ratio* berdasarkan konsumsi bahan bakar *dump truck* HD785, dengan data yang diperoleh langsung dari pangkalan pusat data perusahaan. Data hasil penghitungan *fuel ratio* kemudian diolah menggunakan metode regresi linier berganda dengan bantuan perangkat lunak SPSS, menggunakan dua variabel bebas untuk dianalisis terhadap pengaruhnya terhadap variabel terikat. Selain itu, bab ini juga memaparkan hasil eksperimen konsumsi bahan bakar melalui metode Taguchi, termasuk *main effect* dan *analysis of variance* (ANOVA), dengan faktor dan level yang telah ditetapkan sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya. Selanjutnya, dijelaskan pula eksperimen konfirmasi pada kondisi optimal berdasarkan data hasil eksperimen metode Taguchi, yang kemudian dianalisis kembali menggunakan regresi linier berganda. Analisis ini dilakukan untuk membuktikan efektivitas pengaturan rancangan operasional pada kondisi optimal yang telah ditentukan.

#### **4.1 Olah Data Regresi Linier**

Pada tahap pengolahan data analisis regresi linier berganda, variabel bebas dan variabel terikat diperoleh dari rumus *fuel ratio*. Variabel bebas terdiri atas *fuel consumption* dan *productivity* unit, sedangkan variabel terikatnya adalah *fuel ratio*. Nilai-nilai pada variabel bebas dan terikat dihasilkan dari sampel data sebanyak 27 unit yang beroperasi dari berbagai unit *code number* yang berbeda-beda. Pengolahan model regresi linier ini dilakukan untuk membuktikan apakah variabel bebas memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel terikat. Hasil dari pengolahan model regresi linier berganda ini diharapkan dapat memperkuat pengambilan keputusan dalam perancangan operasional efisiensi bahan bakar pada *dump truck* HD785 yang beroperasi di PT ABC, melalui eksperimen metode Taguchi. Adapun data hasil analisis regresi linier adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data pencapaian kinerja unit

| <i>No</i> | <i>Code Number</i> | <i>Fuel Consumption (l/h)</i> | <i>Productivity (bcm/h.km)</i> | <i>Fuel Ratio</i> |
|-----------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 1         | DT566XX            | 77,42                         | 265,4                          | 0,29              |
| 2         | DT566XX            | 73,92                         | 265,9                          | 0,28              |
| 3         | DT406XX            | 76,58                         | 261,1                          | 0,29              |
| 4         | DT372XX            | 77,28                         | 250,0                          | 0,31              |
| 5         | DT436XX            | 78,54                         | 236,6                          | 0,33              |
| 6         | DT479XX            | 78,54                         | 231,4                          | 0,34              |
| 7         | DT349XX            | 79,78                         | 237,56                         | 0,34              |
| 8         | DT320XX            | 78,72                         | 204,03                         | 0,39              |
| 9         | DT320XX            | 76,02                         | 211,42                         | 0,36              |
| 10        | DT481XX            | 73,20                         | 252,15                         | 0,29              |
| 11        | DT496XX            | 71,60                         | 216,31                         | 0,33              |
| 12        | DT528XX            | 72,62                         | 252,10                         | 0,29              |
| 13        | DT529XX            | 74,72                         | 229,37                         | 0,33              |
| 14        | DT391XX            | 76,88                         | 274,51                         | 0,28              |
| 15        | DT503XX            | 76,08                         | 226,90                         | 0,34              |
| 16        | DT394XX            | 76,36                         | 233,09                         | 0,33              |
| 17        | DT394XX            | 75,90                         | 242,68                         | 0,31              |
| 18        | DT459XX            | 76,08                         | 232,07                         | 0,33              |
| 19        | DT403XX            | 71,08                         | 237,88                         | 0,30              |
| 20        | DT487XX            | 71,36                         | 232,42                         | 0,31              |
| 21        | DT418XX            | 72,10                         | 265,45                         | 0,27              |
| 22        | DT409XX            | 72,00                         | 226,49                         | 0,32              |
| 23        | DT459XX            | 71,68                         | 223,71                         | 0,32              |
| 24        | DT458XX            | 71,58                         | 226,72                         | 0,32              |
| 25        | DT458XX            | 69,00                         | 243,82                         | 0,28              |
| 26        | DT435XX            | 67,68                         | 242,54                         | 0,28              |
| 27        | DT487XX            | 71,82                         | 250,03                         | 0,29              |
| Rata-rata |                    | 74,39                         | 239,69                         | 0,31              |

Penetapan nilai standar parameter masing-masing variabel didapatkan dari ketentuan yang dibuat oleh manajemen PT. ABC, diantaranya adalah:

1. *Fuel consumption*  $\leq 76$  l/h
2. *Productivity*  $\geq 231$  bcm/km.h
3. *Fuel ratio*  $\leq 0,33$

Nilai dari data diatas dirata-ratakan setiap variabelnya lalu dibuat perbandingan dari setiap variabel. Sesuai persamaan menghitung *fuel ratio*, maka didapatkan:

$$\text{Fuel Ratio (FR)} = \frac{\text{Jumlah konsumsi bahan bakar}}{\text{Produktivitas}}$$

$$\begin{aligned} FR &= \frac{74,39}{239,69} \\ &= 0,31 \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas didapatkan rata-rata:

1. *Fuel consumption*  $\leq 74,39$  l/h
2. *Productivity*  $\geq 239,69$  bcm/km.h
3. *Fuel ratio*  $\leq 0,31$

Dengan demikian hasilnya dapat disimpulkan bahwa angka pada *fuel ratio* masih berada dibawah batas atas yang ditetapkan atau lebih baik dari ketentuan yang diputuskan oleh perusahaan, sehingga kesimpulannya telah memenuhi harapan dari manajemen perusahaan. Meskipun, jika dilihat dari angka-angka diatas secara satuan pada setiap parameter *fuel consumption*, *productivity*, dan *fuel ratio*, masih terdapat angka yang tidak memenuhi nilai harapan sesuai ketentuan, yaitu terletak pada unit dengan *code number* sebagai berikut:

1. *Fuel consumption*:

DT566XX, DT406XX, DT372XX, DT436XX, DT479XX, DT349XX,  
DT320XX, DT320XX, DT391XX, DT503XX, DT394XX, DT394XX,  
DT459XX

2. *Productivity*

DT320XX, DT320XX, DT496XX, DT503XX, DT409XX, DT459XX

3. *Fuel ratio*

DT479XX, DT349XX, DT320XX, DT320XX

Sehingga berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 4.1 dapat ditetapkan variabel untuk menghitung seberapa besar pengaruh dari setiap variabel, yaitu:

1. Variabel bebas:

a. *Fuel consumption* (l/h)

b. *Productivity* (bcm/h.km)

2. Variabel terikat *fuel ratio*

Dengan demikian proses pembuktian terhadap pengaruh variabel *fuel consumption* dan variabel *productivity* terhadap variabel *fuel ratio* dapat dilakukan dengan model regresi sebagai berikut:

$$\text{Fuel Ratio} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{fuel consumption} + \beta_2 \times \text{productivity} + \varepsilon$$

Selanjutnya model tersebut akan dilakukan estimasi parameter koefisien regresi dan konstanta, yaitu pada nilai  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ . Sehingga perbedaan antara nilai *fuel ratio* aktual dan nilai prediksi model menjadi sekecil mungkin dalam kuadratnya. Setelah angka pada setiap variabel diatas ditetapkan, maka dilakukan proses penghitungan untuk membuktikan pengaruh *fuel consumption* dan *productivity* terhadap *fuel ratio* melalui bantuan perangkat lunak SPSS. Proses olah data dilakukan melalui beberapa tahapan uji, agar data yang dihasilkan benar-benar valid dan tidak menimbulkan interpretasi ambigu. Adapun tahapan penghitungan model regresi dari variabel adalah sebagai berikut:

#### 4.1.1 Uji asumsi klasik

Dalam uji asumsi klasik terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam penghitungan, diantaranya adalah:

### 1. *Multikolinieritas*

Variabel *fuel consumption* dan *productivity* memiliki nilai VIF sama sebesar 1,001 sedangkan *tolerance*-nya 0,999. Karena nilai VIF dari kedua variabel tidak ada yang lebih besar dari 10, maka dapat dikatakan tidak terjadi *multikolinieritas* pada kedua variabel bebas tersebut.

Tabel 4.2 Data uji *multikolinieritas*

| Coefficients                       |                       |                             |            |                           |         |       |                         |       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|-------|-------------------------|-------|
|                                    |                       | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |         |       | Collinearity Statistics |       |
|                                    |                       | B                           | Std. Error | Beta                      | t       | Sig.  |                         |       |
| Model                              | (Constant)            | 0,312                       | 0,018      |                           | 17,637  | 0,000 |                         |       |
|                                    | Fuel Consumption (X1) | 0,004                       | 0,000      | 0,499                     | 21,910  | 0,000 | 0,999                   | 1,001 |
|                                    | Productivity (X2)     | -0,001                      | 0,000      | -0,847                    | -37,169 | 0,000 | 0,999                   | 1,001 |
| Dependent Variable: Fuel Ratio (Y) |                       |                             |            |                           |         |       |                         |       |

Syarat asumsi klasik regresi linier yang baik adalah jika model regresi linier terbebas dari *multikolinieritas*.

### 2. *Autokorelasi*

Karena menggunakan data bertipe *time series*, maka perlu dilakukan estimasi model regresi linier, melalui uji asumsi untuk melihat apakah terbebas dari autokorelasi.

Tabel 4.3 Data uji *autokorelasi*

| Model Summary                                                       |       |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
|---------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|----------|-----|-----|---------------|-------|
| Model                                                               | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change | D-W   |
| 1                                                                   | 0,994 | 0,988    | 0,987             | 0,00330                    | 0,988           | 951,435  | 2   | 24  | 0,000         | 1,760 |
| a. Predictors: (Constant), Productivity (X2), Fuel Consumption (X1) |       |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
| b. Dependent Variable: Fuel Ratio (Y)                               |       |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |

Selanjutnya membandingkan angka *Durbin-Watson* pada tabel diatas dengan kriteria penerimaan atau penolakan terhadap angka dari tabel *Durbin-Watson* (dL dan dU), dengan jumlah dua variabel bebas regresi (k) dan 27 sampelnya

(n). Angka  $dL$  dan  $dU$  ditetapkan pada tingkat signifikansi (*error*) 5% ( $\alpha = 0,05$ ), dalam tabel *Durbin-Watson* menunjukkan bahwa angka  $dL = 1,2399$  dan angka  $dU = 1,5562$ , angka *Durbin-Watson* pada Tabel 4.3 sebesar 1,760. Berikut ketentuan hipotesis dalam menyimpulkan keberadaan *autokorelasi*:

a. Positif

Jika  $dw > dU$ . Pembuktian  $dw (1,760) > dU (1,5562)$ . Maka tidak terdapat *autokorelasi* positif → Gagal Tolak

b. Negatif

Jika  $(4 - dw) < dL$ . Pembuktian  $(4 - 1,7600) < 1,2399 = 2,240 > 1,2399$ , Maka terdapat *autokorelasi* negatif → Tolak

Jika  $(4 - dw) > dU$ . Pembuktian  $(4 - 1,7600) > 1,5562 = 2,2400 > 1,5562$ . Maka tidak terdapat *autokorelasi* negatif → Gagal Tolak

c. Tidak dapat disimpulkan

Jika  $dL < (4 - dw) < dU$ . Pembuktian  $1,2399 < (4 - 1,760) < 1,5562 = 1,2399 < 2,2400 > 1,5562$ . Maka pengujian atau tidak dapat disimpulkan → Gagal Tolak

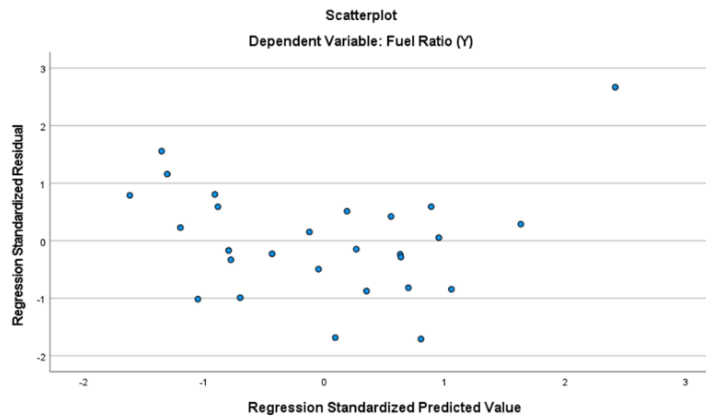
Dari hipotesis *autokorelasi* disimpulkan bahwa:

- $H_0$ : Tidak terdapat *autokorelasi* dalam residual regresi.
- $H_1$ : Terdapat *autokorelasi* dalam residual regresi.

Dengan angka *Durbin-Watson* yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 data uji *autokorelasi*, maka kesimpulannya adalah bahwa  $H_0$  gagal tolak sedangkan  $H_1$  diterima atau dengan kata lain tidak terdapat *autokorelasi* positif dalam data.

### 3. *Heteroskedastisitas*

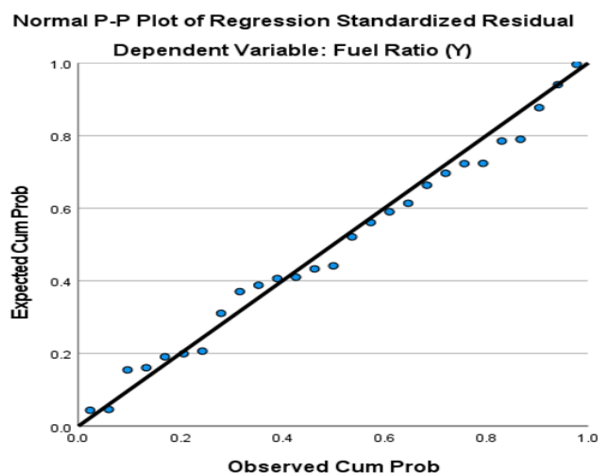
Dari grafik dibawah didapatkan bahwa tidak terdapat adanya titik-titik yang membentuk pola tertentu yang teratur, dimana titik-titik pada *scatterplot* menyebar secara acak diatas maupun dibawah angka 0 dari sumbu y. Sehingga pada grafik tersebut tidak terjadi adanya masalah *heteroskedasitas*.



Gambar 4.1 Diagram *scatterplot* uji *heteroskedastisitas*

#### 4. *Normalitas*

Kriteria sebuah (data) residual terdistribusi normal atau tidak dapat dilihat melalui pendekatan diagram *Normal P-P Plot* dapat dilakukan dengan melihat sebaran titik-titik yang ada pada gambar. Apabila sebaran titik-titik tersebut mendekati atau rapat pada garis lurus (diagonal) maka dikatakan bahwa (data) residual terdistribusi normal, namun apabila sebaran titik-titik tersebut menjauhi garis maka tidak terdistribusi normal. Hasil olah data terlihat pada gambar dibawah, dimana sebaran titik-titik dari gambar grafik 4.2 *Normal P-P Plot*, tersebut relatif mendekati garis lurus, sehingga dapat disimpulkan bahwa (data) residual terdistribusi normal.



Gambar 4.2 Diagram *normal P-P Plot* uji *normalitas*

#### 4.1.2 Uji kelayakan model

##### 1. Uji keandalan model (Uji F)

Uji keandalan model atau uji kelayakan model atau uji F atau uji simultan model, digunakan sebagai tahapan awal mengidentifikasi model regresi yang diestimasi layak atau tidak, yaitu model yang diestimasi layak digunakan untuk menjelaskan pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel terikat. Apabila nilai *prob. F* hitung (menggunakan software SPSS ditunjukkan pada kolom *sig.*) lebih kecil dari tingkat kesalahan (*alpha* 0,05), maka dapat dikatakan bahwa model regresi yang diestimasi layak, sedangkan apabila nilai *prob. F* hitung lebih besar dari tingkat kesalahan 0,05 maka dapat dikatakan bahwa model regresi yang diestimasi tidak layak.

Tabel 4.4 Uji keandalan model (Uji F)

| ANOVA                                                               |            |               |     |             |           |        |
|---------------------------------------------------------------------|------------|---------------|-----|-------------|-----------|--------|
| Model                                                               |            | Sum of Square | df  | Mean Square | F         | Sig.   |
| 1                                                                   | Regression | 0,421         | 2   | 0,211       | 1,199,967 | <0,001 |
|                                                                     | Residual   | 0,023         | 132 | 0,000       |           |        |
|                                                                     | Total      | 0,444         | 134 |             |           |        |
| a. Predictors: (Constant), Productivity (X2), Fuel Consumption (X1) |            |               |     |             |           |        |
| b. Dependent Variable: Fuel Ratio (Y)                               |            |               |     |             |           |        |

Nilai *prob. F* hitung (*sig.*) pada tabel diatas nilainya 0,001 lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi linier yang diestimasi layak digunakan untuk menjelaskan pengaruh *productivity* dan *fuel consumption* terhadap variabel terikat *fuel ratio*.

##### 2. Uji koefisien regresi (Uji t)

Dalam tahap Uji t dalam regresi linier berganda dimaksudkan untuk menguji apakah parameter (koefisien regresi dan konstanta) yang diduga untuk mengestimasi persamaan atau model regresi linier berganda sudah merupakan parameter yang tepat atau belum (parameter tersebut mampu menjelaskan perilaku variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikatnya). Parameter yang diestimasi dalam regresi linier meliputi intersep (konstanta) dan *slope*

(koefisien dalam persamaan linier), fokus uji t adalah ke parameter *slope*. Jadi uji t yang dimaksud adalah uji koefisien regresi.

Tabel 4.5 Uji koefisien regresi

| Coefficients                       |                       |                             |            |                           |         |       |                         |       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|-------|-------------------------|-------|
|                                    |                       | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |         |       | Collinearity Statistics |       |
|                                    |                       | B                           | Std. Error | Beta                      | t       | Sig.  | Tolerance               | VIF   |
| Model                              | (Constant)            | 0,312                       | 0,018      |                           | 17,637  | 0,000 |                         |       |
|                                    | Fuel Consumption (X1) | 0,004                       | 0,000      | 0,499                     | 21,910  | 0,000 | 0,999                   | 1,001 |
|                                    | Productivity (X2)     | -0,001                      | 0,000      | -0,847                    | -37,169 | 0,000 | 0,999                   | 1,001 |
| Dependent Variable: Fuel Ratio (Y) |                       |                             |            |                           |         |       |                         |       |

Apabila nilai *prob. T* hitung (kolom *sig.*) lebih kecil dari tingkat kesalahan (*alpha* 0,05), berarti bahwa variabel bebas (*T* hitung) berpengaruh signifikan terhadap variabel terikatnya. Sedangkan apabila nilai *prob. T* hitung lebih besar dari tingkat kesalahan 0,05, berarti bahwa variabel bebas tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel terikatnya. Nilai *prob. T* hitung dari variabel bebas *fuel consumption* sebesar 0,004 yang lebih kecil dari 0,05 sehingga variabel bebas *fuel consumption* berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat *fuel ratio* pada *alpha* 5% atau dengan kata lain, *fuel consumption* berpengaruh signifikan terhadap *fuel ratio* pada taraf keyakinan 95%. Sama halnya dengan pengaruh variabel bebas *productivity* terhadap variabel terikat *fuel ratio*, karena nilai (*VIF prob. T* hitung (0,001) yang lebih kecil dari 0,05 maka variabel bebas *productivity* berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat *fuel ratio* pada *alpha* 5% atau dengan kata lain, *productivity* berpengaruh signifikan terhadap *fuel ratio* pada taraf keyakinan 95%.

### 3. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi menjelaskan variasi pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel terikatnya atau sebagai proporsi pengaruh seluruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Nilai koefisien determinasi dapat diukur oleh nilai *Rsquare* atau *Adjusted R-Square*.

Tabel 4.6 Uji koefisien determinasi

| Model Summary                                                       |       |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
|---------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|----------|-----|-----|---------------|-------|
| Model                                                               | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change | D-W   |
| 1                                                                   | 0,994 | 0,988    | 0,987             | 0,00330                    | 0,988           | 951,435  | 2   | 24  | 0,000         | 1,760 |
| a. Predictors: (Constant), Productivity (X2), Fuel Consumption (X1) |       |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
| b. Dependent Variable: Fuel Ratio (Y)                               |       |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |

Jika dilihat dari nilai *R-Square* yang besarnya 0,988 menunjukkan bahwa proporsi pengaruh variabel *fuel consumption* dan *productivity* terhadap variabel *fuel ratio* sebesar 98,8%. Artinya, *fuel consumption* dan *productivity* memiliki proporsi pengaruh terhadap *fuel ratio* sebesar 98,8%. Sedangkan sisanya 1,2% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak ada didalam model regresi linier.

#### 4.1.3 Interpretasi model

Uji asumsi klasik bertujuan untuk memastikan bahwa persyaratan minimal sebuah model regresi linier telah dipenuhi sehingga tidak akan menimbulkan kesalahan dalam pemenuhan asumsi. Uji kelayakan juga berguna untuk memastikan bahwa model regresi linier yang diestimasi layak menjelaskan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Apabila model yang diestimasi tidak atau kurang layak, maka model tersebut memang tidak bisa digunakan untuk menafsirkan (interpretasi) pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

Tabel 4.7 Uji kelayakan koefisien

| c                                  |                       |                             |            |                           |                         |       |           |       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------------------------|-------|-----------|-------|
|                                    |                       | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | Collinearity Statistics |       |           |       |
|                                    |                       | B                           | Std. Error | Beta                      | t                       | Sig.  | Tolerance | VIF   |
| Model                              | (Constant)            | 0,312                       | 0,018      |                           | 17,637                  | 0,000 |           |       |
|                                    | Fuel Consumption (X1) | 0,004                       | 0,000      | 0,499                     | 21,910                  | 0,000 | 0,999     | 1,001 |
|                                    | Productivity (X2)     | -0,001                      | 0,000      | -0,847                    | -37,169                 | 0,000 | 0,999     | 1,001 |
| Dependent Variable: Fuel Ratio (Y) |                       |                             |            |                           |                         |       |           |       |

Koefisien regresi untuk variabel *fuel consumption* sebesar 0,004 dan variabel *productivity* sebesar 0,001. Koefisien regresi *fuel consumption* bernilai positif

artinya pada saat *fuel consumption* turun, maka jumlah *fuel ratio* juga akan mengalami penurunan. Begitu pula pada saat *fuel consumption* naik, maka jumlah *fuel ratio* juga akan naik. Kenaikan *fuel consumption* sebesar 1 liter/jam, akan meningkatkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0.004 bcm/liter dan sebaliknya penurunan *fuel consumption* sebesar 1 liter/jam, akan menurunkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0,004 bcm/liter. Koefisien regresi *productivity* bernilai positif memiliki arti yang berbeda dengan koefisien regresi *fuel consumption*. Pada saat *productivity* turun, maka jumlah *fuel ratio* justru akan menjadi tinggi. Begitupun ketika *productivity* naik, maka jumlah *fuel ratio* akan turun. Kenaikan *productivity* 1 bcm/h.km akan meningkatkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0,001 bcm/liter dan sebaliknya, penurunan *productivity* 1 bcm/h.km akan menaikkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0,001 bcm/liter.

#### 4.2 Analisis Hasil Eksperimen Konsumsi Bahan Bakar

Selanjutnya adalah menganalisis hasil eksperimen jumlah konsumsi bahan bakar, untuk mendapatkan kombinasi level tiap model operasi yang berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar secara optimal. Dengan tujuan meminimalkan deviasi respon kualitas dari nilai target dan meminimalkan variasi respon kualitas.

Tabel 4.8 Penetapan faktor dan level eksperimen

| Faktor                     | Level Faktor |         |           |
|----------------------------|--------------|---------|-----------|
|                            | 1            | 2       | 3         |
| <i>Economy Mode On (h)</i> | $\leq 5$     | 6 - 10  | $\geq 11$ |
| <i>Inclination (%)</i>     | $\leq 3$     | 4 - 5   | $\geq 6$  |
| <i>Payload (ton)</i>       | $\leq 90$    | 91 - 95 | $\geq 96$ |
| <i>Travel Speed (km/h)</i> | $\leq 17$    | 18 - 21 | $\geq 22$ |

Analisis dilakukan pada pengaruh faktor terhadap rata-rata respon kualitas (mengurangi deviasi) dan pengaruh faktor terhadap variabilitas respon kualitas (meminimalkan variasi respon kualitas). Tabel 4.8 adalah penentuan faktor yang memberikan pengaruh pada nilai respon dan menentukan jumlah level faktornya.

Level dalam eksperimen ini merujuk pada lokasi dimana unit *dump truck* HD785 dapat beroperasi sesuai dengan skenario penetapan faktor dan level faktor,

menyesuaikan dengan kondisi dilapangan agar proses perlakuan skenario pada eksperimen ini dapat dilakukan. Berikut alat muat dan lokasinya:

1. Level 1: Front EX177X, diarea Pit AB
2. Level 2: Front EX174X, diarea Pit CD
3. Level 3: Front EX175X, diarea Pit EF

#### 4.2.1 Pengaruh faktor terhadap faktor rata-rata konsumsi bahan bakar

Pengujian untuk mendapatkan gambaran jumlah konsumsi bahan bakar yang optimal, dilakukan sesuai penetapan skenario level faktor yang sudah ditetapkan sebelumnya. Berikut adalah hasil pengujian terhadap jumlah konsumsi bahan bakar dalam satuan liter/jam:

Tabel 4.9 Hasil eksperimen jumlah konsumsi bahan bakar

| Eks | Faktor  |          |          |           | Fuel Consumption (l/h) |         |         | Mean  |
|-----|---------|----------|----------|-----------|------------------------|---------|---------|-------|
|     | Eco (h) | Incl (%) | PL (ton) | TS (km/h) | Level 1                | Level 2 | Level 3 |       |
| 1   | 1       | 1        | 1        | 1         | 77.42                  | 73.92   | 76.58   | 75.97 |
| 2   | 1       | 2        | 2        | 2         | 77.28                  | 78.54   | 77.12   | 77.65 |
| 3   | 1       | 3        | 3        | 3         | 79.78                  | 78.72   | 76.02   | 78.17 |
| 4   | 2       | 1        | 2        | 3         | 73.20                  | 71.60   | 72.62   | 72.47 |
| 5   | 2       | 2        | 3        | 1         | 74.72                  | 76.88   | 76.08   | 75.89 |
| 6   | 2       | 3        | 1        | 2         | 76.36                  | 75.90   | 75.70   | 75.99 |
| 7   | 3       | 1        | 3        | 2         | 71.08                  | 71.36   | 72.10   | 71.51 |
| 8   | 3       | 2        | 1        | 3         | 72.00                  | 71.68   | 71.58   | 71.75 |
| 9   | 3       | 3        | 2        | 1         | 69.00                  | 67.68   | 71.82   | 69.50 |
|     |         |          |          | Total     | 2006.74                |         |         | 74.32 |

Penghitungan rata-rata hasil eksperimen jumlah konsumsi bahan bakar pada *dump truck* HD785 terdiri dari *fuel level total*, *fuel mean*, dan *fuel variance*. Hal ini digunakan untuk penghitungan selanjutnya pada tahap tabel *ANOVA* untuk rata-rata hasil eksperimen konsumsi bahan bakar juga terdiri dari derajat kebebasan (*dof*), jumlah kuadrat (*SS*), jumlah kuadrat rata-rata (*MS*), *F-ratio*, jumlah kuadrat murni (*Pure SS*), dan persen kontribusi setiap faktor.

1. Hitung nilai *main effect analysis* dari rata-rata hasil eksperimen

*Main effect analysis* dari rata-rata hasil eksperimen konsumsi bahan bakar bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar. Pada analisis ini dilakukan penghitungan terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar untuk setiap level faktor dalam eksperimen. *Main effect analysis* juga menunjukkan seberapa besar perubahan pada nilai respon (*output*) ketika kita mengubah level dari satu faktor, tanpa memperhatikan faktor lainnya. Dengan ini, kita tahu faktor mana yang paling penting. Dengan mengetahui *main effect*, kita bisa lebih fokus pada faktor-faktor utama saja saat mencari kombinasi optimal dari faktor-faktor tersebut untuk meningkatkan kualitas produk atau proses. Berikut ini adalah hasil penghitungan *main effect Analysis* dari rata-rata hasil eksperimen konsumsi bahan bakar.

$$\begin{aligned} \text{a. Eco (h) A level 1} &= \frac{SSA}{SS_T} = \frac{75,97 + 77,65 + 78,17}{3} = 77.26 \\ \text{b. Eco (h) A level 2} &= \frac{SSA}{SS_T} = \frac{72.47 + 75.89 + 75.99}{3} = 74.78 \\ \text{c. Eco (h) A level 3} &= \frac{SSA}{SS_T} = \frac{71.51 + 71.75 + 69.50}{3} = 70.92 \end{aligned}$$

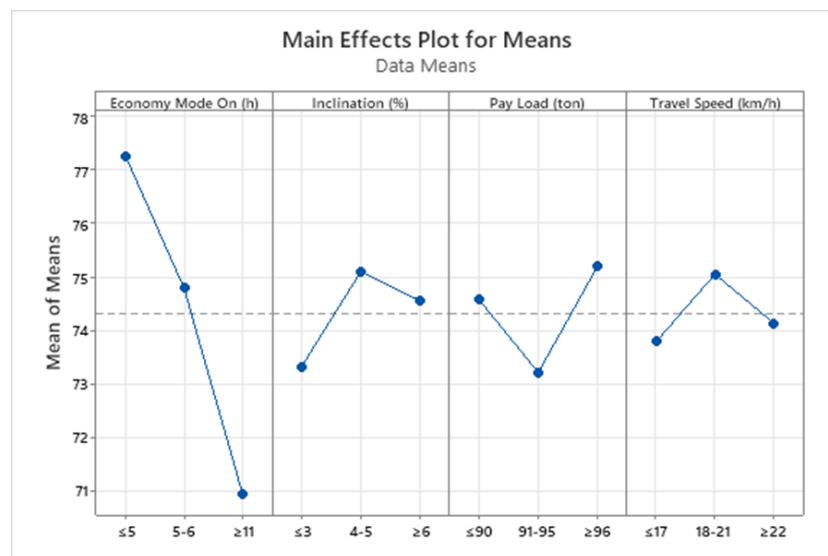
Dan seterusnya *Incl (%) B level 1, Incl (%) B level 2, Incl (%) B level 3, PL (ton) C level 1, PL (ton) C level 2, PL (ton) C level 3, TS (km/h) D level 1, TS (km/h) D level 2, TS (km/h) D level 3.*

Tabel 4.10 Hasil penghitungan *main effect analysis*

| Rata-rata level | Faktor             |                     |                   |                      |
|-----------------|--------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
|                 | <i>Eco (h) (A)</i> | <i>Incl (%) (B)</i> | <i>PL (ton) ©</i> | <i>TS (km/h) (D)</i> |
| Level 1         | 77.26              | 73.32               | 74.57             | 73.79                |
| Level 2         | 74.78              | 75.10               | 73.21             | 75.05                |
| Level 3         | 70.92              | 74.55               | 75.19             | 74.13                |
| Efek            | 6.34               | 1.78                | 1.99              | 1,26                 |
| Peringkat       | 1                  | 3                   | 2                 | 1                    |
| Optimum         | A3                 | B1                  | C2                | D3                   |

Efek = rata-rata respon terbesar- rata-rata respon terkecil

Dari efek tiap faktor pada Tabel 4.10 dapat dilihat peringkat pengaruh dari setiap faktor mulai yang terbesar sampai yang terkecil. Jenis karakteristik konsumsi bahan bakar adalah *smaller is better*, maka dipilih faktor yang menghasilkan respon terbesar sebagai rancangan usulan. Dari data *main effect analysis* diatas diketahui bahwa faktor yang memiliki selisih terbesar adalah faktor *economy mode on*, sehingga menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, dengan nilai selisih sebesar 6,34. Faktor selanjutnya adalah *payload* dengan nilai selisih 1,99, faktor *inclination* dengan selisih 1,78 dan faktor *travel speed* dengan selisih 1,26 (A3, C2, B1, dan D1).



Gambar 4.3 Diagram *main effect plot* rata-rata jumlah konsumsi bahan bakar

## 2. Hitung nilai *S/N Ratio* dari rata-rata hasil eksperimen

Penghitungan ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran seberapa besar perbandingan nilai *signal* dan *noise*. Jika *S/N Ratio* tinggi berarti semakin kecil variasi sensitivitas karakteristik kualitas terhadap gangguan (*noise*). Dalam menghitung nilai *S/N Ratio* digunakan metode *Smaller is Better* karena tujuannya adalah meminimalkan konsumsi bahan bakar. Berikut hasilnya:

$$SN Ratio = -10 \times \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

a. Eco (h) A level 1

$$= \sum y_i^2 = 77,42^2 + 73,92^2 + 76,58^2 = 17323,519$$

$$= \frac{1}{n} \sum y_i^2 = \frac{17323}{3} = 5774,17$$

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log_{10} (5774,17) = -37,61$$

b. Eco (h) A level 2

$$= \sum y_i^2 = 77,28^2 + 78,54^2 + 77,12^2 = 18088,225$$

$$= \frac{1}{n} \sum y_i^2 = \frac{18088,225}{3} = 6029,41$$

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log_{10} (6029,41) = -37,80$$

c. Eco (h) A level 3

$$= \sum y_i^2 = 79,78^2 + 78,72^2 + 76,02^2 = 18340,727$$

$$= \frac{1}{n} \sum y_i^2 = \frac{18340,727}{3} = 6113,58$$

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \times \log_{10} (6113,58) = -37,86$$

Berlaku untuk penghitungan *S/N Ratio* eksperimen 4, 5, 6, 7, 8, dan 9.

Tabel 4.11 Penghitungan nilai terhadap efek *S/N Ratio*

| Eks | Faktor  |          |          |           | Fuel Consumption (l/h) |         |         | Mean  | Total  | S/N Ratio (Smaller is Better) |
|-----|---------|----------|----------|-----------|------------------------|---------|---------|-------|--------|-------------------------------|
|     | Eco (h) | Incl (%) | PL (ton) | TS (km/h) | Level 1                | Level 2 | Level 3 |       |        |                               |
| 1   | 1       | 1        | 1        | 1         | 77,42                  | 73,92   | 76,58   | 75,97 | 227,92 | -37,61                        |
| 2   | 1       | 2        | 2        | 2         | 77,28                  | 78,54   | 77,12   | 77,65 | 232,94 | -37,80                        |
| 3   | 1       | 3        | 3        | 3         | 79,78                  | 78,72   | 76,02   | 78,17 | 234,52 | -37,86                        |
| 4   | 2       | 1        | 2        | 3         | 73,20                  | 71,60   | 72,62   | 72,47 | 217,42 | -37,20                        |
| 5   | 2       | 2        | 3        | 1         | 74,72                  | 76,88   | 76,08   | 75,89 | 227,68 | -37,60                        |
| 6   | 2       | 3        | 1        | 2         | 76,36                  | 75,90   | 75,70   | 75,99 | 227,96 | -37,61                        |
| 7   | 3       | 1        | 3        | 2         | 71,08                  | 71,36   | 72,10   | 71,51 | 214,54 | -37,09                        |
| 8   | 3       | 2        | 1        | 3         | 72,00                  | 71,68   | 71,58   | 71,75 | 215,26 | -37,12                        |
| 9   | 3       | 3        | 2        | 1         | 69,00                  | 67,68   | 71,82   | 69,50 | 208,5  | -36,84                        |
|     |         |          |          | Total     | 2006,74                |         |         | 74,32 |        | -37,42                        |

3. Hitung *analysis of variance* (ANOVA) dari hasil eksperimen

Dalam metode taguchi ANOVA merupakan teknik penghitungan untuk mendapatkan data secara kuantitatif dalam memperkirakan nilai kontribusi dari setiap faktor pada semua level pengukuran respon dan digunakan untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen. Dalam analisis penelitian ini menggunakan tipe *two way ANOVA*, karena tipe ini dapat mengakomodir data eksperimen yang memiliki lebih dari dua faktor dan level. Nilai yang akan diambil meliputi *sum of square (ss)*, *degree of freedom (DoF)*, *mean square (MS)*, dan *F-Ratio*. Eksperimen yang identifikasi diambil dari nilai kontribusi dari setiap faktor kontrol terhadap jumlah konsumsi bahan bakar yang menjadi respon kualitasnya. Sehingga dapat diketahui faktor mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah konsumsi bahan bakar setiap jamnya.

a. *Sum of squares due to mean ((SSm)*

$$(SSm) = n\bar{y}^2$$

$$= 27 \times 74,32^2 = 149148,35$$

Keterangan:

$n$  = jumlah seluruh percobaan

$y$  = rata-rata seluruh percobaan

b. *Total sum of square (Sstotal)*

$$SS_{total} = \sum Y^2 - (SSm)$$

$$= (77,42^2 + 73,92^2 + 76,58^2 + \dots + 67,68^2 + 71,82^2) - 149148,35$$

$$= 149402,30 - 149148,35$$

$$= 253,95$$

c. *Sum of squares (SS)*

$$SS = [\sum (n_{xi} \bar{x}_i^2)] - SSm$$

- *SSA (Economy mode on)*

$$= (9 \times 77,26^2) + (9 \times 74,78^2) + (9 \times 70,92^2) - 149148,35$$

$$= 183,87$$

- *SSB (Inclination)*

$$= (9 \times 73,32^2) + (9 \times 75,10^2) + (9 \times 74,55^2) - 149148,35$$

$$= 14,93$$

- $SS_C$  (*Payload*)  

$$= (9 \times 74,57^2) + (9 \times 73,21^2) + (9 \times 75,19^2) - 149148,35$$

$$= 18,59$$

- $SS_D$  (*Travel Speed*)  

$$= (9 \times 73,79^2) + (9 \times 75,05^2) + (9 \times 75,05^2) - 149148,35$$

$$= 7,63$$

$$\Sigma SS = 183,87 + 14,93 + 18,59 + 7,63 = 225,03$$

d. *Sum of square due to error (Sse)*

$$Sse = SST - \Sigma SS$$

$$= 253,95 - 225,03$$

$$= 28,92$$

e. *Degree of Freedom (Derajat bebas)*

Penghitungan untuk faktor A, B, C, dan D

$$DF_A = \text{Jumlah level} - 1$$

$$= 3 - 1 = 2$$

$DF$  error dihitung dengan rumus:

$$DF \text{ error} = DF \text{ total} - DF \text{ treatment} = 27 - 9 = 18$$

$$DF \text{ Total} = SS \text{ total} - 1 = 27 - 1 = 26$$

f. *Mean sum of squares*

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A} = \frac{183,87}{2} = 91,94$$

$$MS_B = 7,47$$

$$MS_C = 9,29$$

$$MS_D = 3,82$$

$$Mse = \frac{Sse}{DF} = \frac{28,92}{18} = 1,61$$

g. *Mean sum of squares total*

$$MST = \frac{SST}{DFT}$$

$$= \frac{253,95}{26} = 9,77$$

h. *F-Ratio*

$$F\text{-Ratio} = \frac{MS}{Mse}$$

$$F\text{-Ratio A} = \frac{MS_A}{Mse} = \frac{91,94}{1,61} = 57,217$$

$$F\text{-Ratio B} = \frac{MS_B}{Mse} = \frac{7,47}{1,61} = 4,647$$

$$F\text{-Ratio C} = \frac{MS_C}{Mse} = \frac{9,29}{1,61} = 5,784$$

$$F\text{-Ratio D} = \frac{MS_D}{Mse} = \frac{3,82}{1,61} = 2,375$$

i. *Pure sum of squares (SS')*

$$SS' = SS - (DF \times MSe)$$

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - (DF \times MSe) \\ &= 183,87 - (2 \times 1,61) = 180,66 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS_B - (DF \times MSe) \\ &= 14,93 - (2 \times 1,61) = 11,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_C &= SS_C - (DF \times MSe) \\ &= 18,59 - (2 \times 1,61) = 15,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_D &= SS_D - (DF \times MSe) \\ &= 7,63 - (2 \times 1,61) = 4,42 \end{aligned}$$

$$SS' = 212,17$$

j. *Pure sum of square due to error (Sse')*

$$\begin{aligned} Sse' &= SST - \Sigma SS' \\ &= 253,95 - 212,17 \\ &= 41,78 \end{aligned}$$

k. *Percent contribution (Ratio %)*

$$\rho = \frac{SS'}{SS_T} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \rho_A &= (SS'_A / SST) \times 100\% \\ &= \frac{180,66}{253,95} \times 100\% \\ &= 71,14\% \end{aligned}$$

$$\rho B = 4,62\%$$

$$\rho C = 6,05\%$$

$$\rho D = 1,74\%$$

Hasil penghitungan selengkapnya untuk *analysis of variance* ditunjukkan pada Tabel 4.12 dibawah ini.

Tabel 4.12 *Analysis of variance* dari rata-rata konsumsi bahan bakar

| Level | <i>SS</i> | <i>DF</i> | <i>MS</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>SS'</i> | <i>Ratio %</i> |
|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------|----------------|
| A     | 183,87    | 2         | 91,94     | 57,217         | 183,87     | 71,14%         |
| B     | 14,93     | 2         | 7,47      | 4,647          | 14,93      | 4,62%          |
| C     | 18,59     | 2         | 9,29      | 5,784          | 18,59      | 6,05%          |
| D     | 7,63      | 2         | 3,82      | 2,375          | 7,63       | 1,74%          |
| Error | 28,92     | 18        | 1,61      |                | 41,78      | 16,45%         |
| SST   | 253,95    | 26        | 9,77      |                | 253,95     | 100%           |
| Mean  | 149148,35 | 1         |           |                |            |                |

Pada Tabel 4.12 adalah data hasil penghitungan ANOVA dari rata-rata hasil eksperimen, faktor-faktor kontrol diwakili dengan huruf A (*Economy Mode On*), huruf B (*Inclination*), huruf C (*Payload*), dan huruf D (*Travel speed*). Kolom berikutnya yaitu, *SS* (*Total sum of square*) yaitu jumlah kuadrat yang menggambarkan variasi dalam eksperimen, *DoF* (*Degree of freedom*) adalah derajat kebebasan dari setiap faktor, *MS* (*Mean sum of squares*) adalah jumlah kuadrat rata-rata, *F-Ratio* adalah nilai F faktor yang akan dibandingkan dengan F-tabel, *SS'* (*Pure sum of squares*) adalah jumlah kuadrat murni dari setiap faktor, dan *Ratio %* (*Percent contribution ratio %*) adalah persen kontribusi dari setiap sumber terhadap rata-rata hasil eksperimen. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan uji-F pada bagian *DoF* (*Degree of freedom*) untuk menentukan kesimpulan tabel ANOVA. Pengujian terhadap hipotesis nol ( $H_0$ ) dimana semua rata-rata populasi untuk semua faktor sama atau tidak terdapat perbedaan pengaruh faktor. Sedangkan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) minimal terdapat satu faktor yang berbeda. Jika hasil penghitungan *F-ratio* suatu faktor

lebih besar atau sama dengan  $F(\alpha; f_i, f_e)$  pada tabel F, maka hipotesis nol harus ditolak atau hipotesis alternatifnya diterima, yang berarti bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Nilai F diperoleh dari tabel distribusi F-statistik, dengan:

- a. Derajat bebas ( $DoF$ ), masing-masing level 2 dan error 18, total 26
- b. Tingkat kepercayaan 90%  $\rightarrow$  nilai  $F(0,05; 2, 18) = 3,55$
- c. Tingkat kepercayaan 95%  $\rightarrow$  nilai  $F(0,05; 2, 18) = 2,62$

$H_0$ : Tolak, ada pengaruh signifikan pada faktor A, B, dan C, karena memiliki nilai  $F_{Hitung} > F_{Tabel}$

$H_1$ : Gagal Tolak, tidak terdapat pengaruh signifikan pada faktor D, karena memiliki nilai  $F_{Hitung} < F_{Tabel}$

Faktor *economy mode on*, *inclination*, dan *payload*, memiliki pengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar pada tingkat kepercayaan 90% dan 95%. Namun, pada faktor D (*travel speed*) tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah konsumsi bahan bakar. Faktor A (*economy mode on*) memiliki pengaruh paling besar terhadap konsumsi bahan bakar sebesar 71,14%. Data diatas sesuai dengan data pada tabel respon nilai rata-rata, yang menunjukkan bahwa faktor *economy mode on* merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar pada *dump truck* HD785.

#### 4. Penentuan level faktor yang optimal sesuai rata-rata hasil eksperimen

Dari hasil penghitungan *analysis of variance* pada tabel 4.12, dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar pada *dump truck* HD785 adalah faktor A (*economy mode on*), faktor B (*inclination*), dan faktor C (*payload*). Sedangkan faktor D (*travel speed*) kurang memiliki pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar. Untuk penentuan level faktor yang optimal diprioritaskan pada faktor A, B, dan C, sedangkan untuk faktor D dapat diatur dilevel berapapun. Lalu, untuk menentukan level faktor yang paling optimal, dapat menggunakan hasil penghitungan *main effect analysis* dari rata-rata hasil eksperimen konsumsi bahan bakar pada Tabel 4.12 hasil penghitungan *main effect analysis*. Dari tabel, terlihat bahwa setiap faktor memiliki hasil karakteristik yang berbeda-

beda pada setiap levelnya. Batas nilai target konsumsi bahan bakar adalah maksimum sebesar 76 liter/jam (semakin rendah semakin baik) dan rata-rata nilai *mean* pada *main effect analysis* berkisar antara 70,92 sampai 77,26 liter/jam, maka level yang optimal adalah level dengan rata-rata terendah menjauhi batas atas target yang ditetapkan. Adapun nilai rata-rata terendah adalah faktor A (*Economy Mode On*) pada level 3. Sedangkan faktor B (*Inclination*) pada level 1, faktor C (*Payload*) pada level 2, dan faktor D (*Travel Speed*) pada level 1. Maka berikut level yang optimal untuk setiap faktor yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar:

Tabel 4.13 Level faktor kontrol yang optimal hasil eksperimen

| Label | Faktor Kontrol             | Level Optimal | Nilai Level |
|-------|----------------------------|---------------|-------------|
| A     | <i>Economy Mode On (h)</i> | 3             | $\geq 11$   |
| B     | <i>Inclination (%)</i>     | 1             | $\leq 3$    |
| C     | <i>Payload (ton)</i>       | 2             | 91-95       |
| D     | <i>Travel Speed (km/h)</i> | 1             | $< 17$      |

#### 4.2.2 Pengaruh faktor terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar

Selain mengetahui pengaruh faktor terhadap rata-rata pada eksperimen metode Taguchi, kita juga perlu mengidentifikasi pengaruh faktor terhadap variabilitas respon kualitas, sehingga dapat diketahui faktor mana saja yang paling berpengaruh terhadap adanya variasi respon kualitas. Untuk itu data hasil eksperimen harus ditransformasikan ke dalam bentuk *S/N Ratio*.

##### 1. Hitung nilai *main effect analysis* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen

Penghitungan ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar. Seperti halnya *main effect analysis* pada rata-rata, analisis ini dilakukan dengan menghitung rata-rata *S/N Ratio* hasil eksperimen untuk setiap level faktor dalam eksperimen. Berikut hasil penghitungan *main effect analysis* dari *S/N Ratio* eksperimen konsumsi bahan.

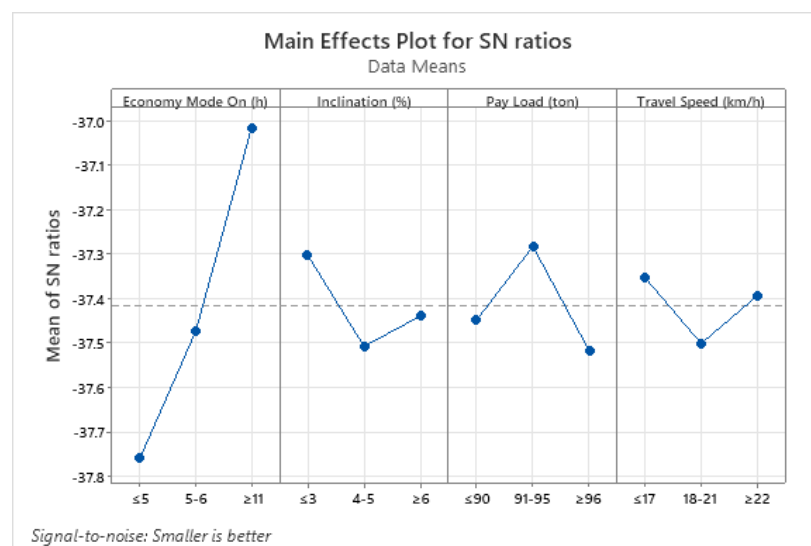
- a. Eco (h) A level 1 =  $\frac{SSA}{SS_T} = \frac{(-37,61) + (-37,80) + (-37,86)}{3} = -37,76$
- b. Eco (h) A level 2 =  $\frac{SSA}{SS_T} = \frac{(-37,20) + (-37,60) + (-37,61)}{3} = -37,47$
- c. Eco (h) A level 3 =  $\frac{SSA}{SS_T} = \frac{(-37,09) + (-37,12) + (-36,84)}{3} = -37,02$

Dan seterusnya Incl (%) B level 1, level 2, dan level 3. PL (ton) C level 1, level 2, dan level 3. TS (km/h) D level 1, level 2, dan level 3.

Tabel 4.14 Hasil penghitungan *main effect S/N Ratio* rata-rata hasil eksperimen

|           | Faktor      |              |            |               |
|-----------|-------------|--------------|------------|---------------|
| Level     | Eco (h) (A) | Incl (%) (B) | PL (ton) © | TS (km/h) (D) |
| Level 1   | -37,76      | -37,30       | -37,45     | -37,35        |
| Level 2   | -37,47      | -37,51       | -37,30     | -37,50        |
| Level 3   | -37,02      | -37,44       | -37,52     | -37,39        |
| Effect    | -0,74       | -0,21        | -0,22      | -0,15         |
| Peringkat | 1           | 3            | 2          | 4             |
| Optimum   | A3          | B1           | C2         | D1            |

Efek = rata-rata respon terbesar- rata-rata respon terkecil



Gambar 4.4. Diagram *main effect plot S/N Ratio* konsumsi bahan bakar

Dari efek tiap faktor didapat urutan efek dari yang terbesar sampai terkecil, dimana *Economy Mode On* (A) masih menjadi faktor yang paling berpengaruh dengan selisih nilai -0,74 disusul *Payload* dengan selisih nilai -0,2, lalu *Inclination* dengan selisih nilai -0,21 dan terakhir *Travel Speed* dengan selisih nilai -0,15. Maka dapat diperoleh rancangan usulan dari Tabel 4.14 dengan kombinasi rancangan A3, C2, B1, dan D1.

2. Hitung *analysis of variance* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen

Untuk mengkonfirmasi hasil *main effect analysis* dan mengetahui kontribusi dari setiap faktor terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar, perlu dilakukan *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap *S/N RATIO* hasil eksperimen konsumsi bahan bakar. Sebagaimana *ANOVA* yang dilakukan terhadap hasil eksperimen rata-rata berat konsumsi bahan bakar, *ANOVA* yang dilakukan pada *S/N RATIO* juga terdiri dari penghitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, jumlah kuadrat rata-rata, *F-ratio*, jumlah kuadrat murni, dan persen kontribusi setiap faktor. Berikut ini adalah hasil penghitungan *ANOVA* terhadap *S/N Ratio* hasil eksperimen konsumsi bahan bakar:

Tabel 4.15 *Analysis of variance* dari *S/N Ratio* hasil eksperimen

| Level | <i>DF</i> | <i>MS</i> | <i>SS'</i> |
|-------|-----------|-----------|------------|
| A     | 2         | 1,27      | 2,54       |
| B     | 2         | 0,10      | 0,20       |
| C     | 2         | 0,13      | 0,26       |
| D     | 2         | 0,05      | 0,11       |
| Error | 0         |           |            |
| Total | 8         |           | 3,11       |

Dari hasil *ANOVA* yang terlihat pada Tabel 4.15, karena nilai *error* sama dengan nol maka tidak dapat dilakukan uji F. Agar dapat ditentukan nilai *error*-nya, maka perlu dilakukan metode *pooling up* Taguchi, yaitu dengan menggabungkan beberapa nilai faktor ke dalam *error*. Penggabungan faktor sebagai *error* dimulai dari faktor dengan *Sum of Squares (SS)* terkecil dari faktor-faktor kontrolnya. Penggabungan dilakukan sampai *SS error* tersebut

sampai kepada derajat kebebasan *error* sama dengan atau lebih dari setengah derajat kebebasan total. Faktor yang memiliki *SS* terkecil adalah faktor B, C, dan D, sehingga faktor B, C, D perlu digabung dengan *SS error*. Penggabungan tersebut menyebabkan perubahan pada struktur tabel *ANOVA* menjadi seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.16 ANOVA penggabungan (*Pooling Up*) hasil eksperimen

| Level | <i>SS</i> | <i>DF</i> | <i>MS</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>SS'</i> | <i>Ratio %</i> |
|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|------------|----------------|
| A     | 2,54      | 2         | 1,27      | -348966668525  | 2,54       | 81,76%         |
| B     | Pooled    |           |           |                |            |                |
| C     |           |           |           |                |            |                |
| D     |           |           |           |                |            |                |
| Error | 0,57      | 6         | 0,09      | -77849663311   | 0,57       | 18,24%         |
| Total | 3,11      | 8         | 1,55      |                | 3,11       | 100%           |

Tabel 4.16 diatas merupakan ANOVA dari *S/N Ratio* hasil eksperimen konsumsi bahan bakar dengan penggabungan (*pooling*) dari faktor B, C, dan D ke dalam kolom *error*. Dari hasil penggabungan tersebut dapat dilakukan uji F karena nilai *error* sudah tidak sama dengan nol.

- Derajat bebas (*DoF*), masing-masing level 2 dan *error* 6
- Tingkat kepercayaan 90% → nilai F (0,10 ; 2,6) = 3,46
- Tingkat kepercayaan 95% → nilai F (0,05 ; 2,6) = 5,14

Dari tabel F diperoleh nilai F(0,05 ; 2,6) yang digunakan untuk uji F dengan tingkat kepercayaan 95% adalah sebesar 5,14 sedangkan nilai F(0,10;2,6) untuk uji F dengan tingkat kepercayaan 90% adalah sebesar 3,46. Dari tabel 4.16 diatas dapat kita lihat bahwa semua faktor yaitu A memiliki nilai *F-ratio* yang lebih besar dari F(0,05;2,6) dan F(0,10;2,6) sehingga pada tingkat kepercayaan 95% dan 90%, kita dapat menolak  $H_0$  yang berarti bahwa terdapat perbedaan pengaruh faktor yang signifikan terhadap *S/N Ratio* atau variabilitas konsumsi bahan bakar.

H0: Tolak, ada pengaruh signifikan pada faktor A, karena memiliki nilai F Hitung > F Tabel

H1: Gagal Tolak, tidak terdapat pengaruh signifikan, karena memiliki nilai F Hitung < F Tabel

Dapat disimpulkan bahwa faktor A (*economy mode on*) berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar. Faktor A memiliki kontribusi atau pengaruh paling besar dibandingkan dengan faktor lainnya yaitu sebesar 81,76%. Faktor *pooled* (B, C, dan D) memiliki kontribusi sebesar 18,24%.

Persamaan ANOVA *S/N Ratio* dengan ANOVA rata-rata.

- a. Faktor A (*economy mode on*) adalah faktor yang paling berpengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar, baik terhadap rata-rata maupun variabilitas. Dengan urutan faktor dan level yang sama yaitu pada faktor dan level A3, B1 dan C2.
- b. Faktor D sama-sama memiliki kontribusi pengaruh yang paling rendah.
- c. Persen kontribusi faktor A terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar adalah 71,14% sedangkan terhadap variabilitas faktor A memiliki pengaruh yang lebih besar yaitu 81,76%. Dengan demikian, faktor *economy mode on* sangat penting untuk diperhatikan dan harus diatur operasionalnya dilapangan dengan parameter settingan yang akurat, agar konsumsi bahan bakar yang dihasilkan memiliki deviasi dan variasi seminimal mungkin disekitar nilai target.

Perbedaan ANOVA *S/N Ratio* dengan ANOVA rata-rata, terletak pada persen kontribusi rata-rata faktor D, dimana levelnya terletak pada D3, sedangkan pada variabilitas faktor terletak pada level D1. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun jenis faktor yang mempengaruhi rata – rata dan variabilitas konsumsi bahan bakar adalah sama, namun tingkat pengaruh faktor tersebut berbeda.

3. Penentuan level faktor yang optimal sesuai *S/N Ratio* hasil eksperimen  
Berdasarkan hasil *analysis of variance* yang dilakukan terhadap *S/N Ratio* hasil eksperimen konsumsi bahan bakar, hanya terdapat satu faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar

yaitu faktor A (*economy mode on*). Sisanya hanya memiliki pengaruh yang sangat kecil sebesar 18,24% dari gabungan tiga faktor B, C, dan D. Sehingga untuk penentuan level faktornya dapat dilakukan sama seperti pada penentuan awal nilai level dan faktor eksperimen. Dalam eksperimen Taguchi dikatakan level yang paling optimal, untuk meminimalkan variasi disekitar nilai target adalah level yang memiliki nilai rata-rata *S/N Ratio* tertinggi dari setiap faktornya. Semakin tinggi nilai *S/N Ratio* berarti semakin kecil pula terjadinya variasi, yang berarti semakin tidak sensitifnya suatu proses terhadap faktor – faktor gangguan (*noise*) penyebab variasi. Dari tabel *main effect* diatas, faktor A memiliki nilai *S/N Ratio* tertinggi pada level 1, faktor C pada level 3, dan faktor D pada level 1. Maka, level yang optimal untuk faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar adalah:

Tabel 4.17 Level faktor kontrol yang optimal berdasarkan *S/N Ratio* hasil eksperimen konsumsi bahan bakar

| Label | Faktor Kontrol             | Level Optimal | Nilai Level |
|-------|----------------------------|---------------|-------------|
| A     | <i>Economy Mode On (h)</i> | 3             | $\geq 11$   |
| B     | <i>Inclination (%)</i>     | 1             | $\leq 3$    |
| C     | <i>Payload (ton)</i>       | 2             | 91-95       |
| D     | <i>Travel Speed (km/h)</i> | 1             | $< 17$      |

#### 4.2.3 Kombinasi level faktor optimal untuk konsumsi bahan bakar

Dari analisa yang telah dilakukan, maka diperoleh dua rancangan operasional yang optimal yaitu:

1. Kombinasi level yang dapat meminimalkan deviasi respon kualitas dari nilai target (berdasarkan analisis rata-rata).
2. Kombinasi level yang dapat mengurangi variasi disekitar nilai target (berdasarkan analisis *S/N Ratio* ).

Karena hanya akan ada satu rancangan operasional yang kemungkinan dapat digunakan pada proses operasional *dump truck* HD785, maka dipilih satu kombinasi level yang dapat mengakomodir kedua tujuan tersebut. Kombinasi level

yang dihasilkan harus dapat meminimalkan deviasi dari nilai target dan sekaligus dapat mengurangi variasi di sekitar target.

Dari analisis yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata konsumsi bahan bakar sama dengan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar tersebut yaitu terdiri dari faktor *economy mode on*, *inclination*, dan *payload*. Sedangkan pada faktor *travel speed* tidak terlalu berpengaruh terhadap rata-rata maupun variabilitas konsumsi bahan bakar. Dari Tabel 4.17 dan 4.18, dapat kita lihat bahwa level faktor yang optimal berdasarkan analisis rata-rata sama persis dengan level faktor yang optimal berdasarkan analisis *S/N Ratio*. Dengan demikian, dari kombinasi level faktor yang dapat meminimalkan deviasi di sekitar target sama dengan kombinasi level yang dapat mengurangi variasi. Meskipun pada faktor *travel speed* sangat kecil dalam memberikan pengaruh jumlah konsumsi bahan bakar, namun faktor tersebut tetap dimasukkan dalam kombinasi rancangan, dengan level yang dipilih pada level 3. Hal ini karena pada level 3 tersebut pada uji pengaruh rata-rata dan variabilitas berada nilai pada tengah-tengah atau nomor dua, tujuan dipilih level 3 tersebut untuk mengakomodir pilihan yang hampir sama diantara ketiga level. Dengan demikian kombinasi penetapan level faktor yang telah diuji dapat digunakan sebagai parameter pengaturan rancangan operasional *dump truck* HD785 secara optimal. Dari kombinasi yang telah ditetapkan tersebut, bertujuan agar jumlah konsumsi bahan bakar yang tidak terlalu bervariasi dan nilainya mampu berada dibawah batasan yang telah ditetapkan oleh manajemen maksimal 76 liter/jam. Berikut adalah kombinasi level optimal yang dihasilkan:

Tabel 4.18 Usulan rancangan operasional sebagai faktor dan level

| Label | Faktor Kontrol             | Level Optimal | Nilai Level |
|-------|----------------------------|---------------|-------------|
| A     | <i>Economy Mode On (h)</i> | 3             | $\geq 11$   |
| B     | <i>Inclination (%)</i>     | 1             | $\leq 3$    |
| C     | <i>Payload (ton)</i>       | 2             | 91-95       |
| D     | <i>Travel Speed (km/h)</i> | 1             | $< 17$      |

#### 4.2.4 Prediksi rata-rata konsumsi bahan bakar pada kondisi optimal

Setelah kombinasi level faktor yang optimal untuk konsumsi bahan bakar diperoleh seperti pada Tabel 4.10 yaitu faktor A pada level 3, faktor B pada level 1, faktor C pada level 2, dan faktor D pada level 4. Nilai rata-rata konsumsi bahan bakar untuk penentuan faktor pada level tertentu diambil dari hasil penghitungan *main effect analysis* pada Tabel 4.10. Sehingga model persamaan rata-rata konsumsi bahan bakar pada kondisi optimal adalah sebagai berikut:

$$\mu \text{ Prediksi} = \bar{Y} + (\bar{Y}_A^{(3)} - \bar{Y}) + (\bar{Y}_B^{(1)} - \bar{Y}) + (\bar{Y}_C^{(2)} - \bar{Y}) + (\bar{Y}_D^{(4)} - \bar{Y})$$

Dimana:

$\bar{Y}$  = rata-rata konsumsi bahan bakar dari keseluruhan eksperimen

$\bar{Y}_A^{(3)}$  = rata-rata konsumsi bahan bakar untuk faktor A di level 3

$\bar{Y}_B^{(1)}$  = rata-rata konsumsi bahan bakar untuk faktor B di level 1

$\bar{Y}_C^{(2)}$  = rata-rata konsumsi bahan bakar untuk faktor C di level 2

$\bar{Y}_D^{(4)}$  = rata-rata konsumsi bahan bakar untuk faktor D di level 4

Maka,  $\mu$  prediksi:

a. Faktor A =  $77,26 + 74,78 + 70,92 = 222,97$

b. Faktor B =  $73,32 + 75,10 + 74,55 = 222,97$

c. Faktor C =  $74,57 + 73,21 + 75,19 = 222,97$

d. Faktor D =  $73,79 + 75,05 + 74,13 = 222,97$

$$\text{Total} = 222,97 + 222,97 + 222,97 + 222,97 = 891,88$$

Banyaknya data = 4 faktor x 3 level = 12

$$\mu = \frac{891,88}{12} = 74,32$$

$\mu$  prediksi:

$$= (A_3 + B_1 + C_2 + D_4) - \mu_3$$

$$= (70,92 + 73,32 + 73,21 + 73,79) - \mu_3$$

$$= (291,238) - (74,32 \times 3)$$

$$= 68,28 \text{ (rata-rata konsumsi bahan bakar dump truck HD785)}$$

Selang kepercayaan (*Interval confidence*):

$$\pm \sqrt{F(0,10; 2: 18)} \times \sqrt{MSe} \times \sqrt{\frac{1}{neff}}$$

- a. Nilai prediksi ( $\mu$  prediksi) = 68,28
- b. Error Mse (mean square error) = 1,61
- c. DF Error (derajat bebas error) = 18
- d. Confidence level ( $\alpha/2$ , df = 18), 90% dan 95%
- e. Derajat bebas (df) = 18
- f. neff (jumlah replikasi per kombinasi level optimum)
  - Total DF = 26, jumlah level = 27 (A, B, C, D, error)
  - Total eksperimen = 27 (n = 27 eksperimen / 9 kombinasi = 3 replikasi)

Maka, *margin of error* untuk masing-masing *confidence level*:

- Margin 90% *Interval Confident (IC)*:

$$= \pm \sqrt{F(0,10; 1: 18)} \times \sqrt{MSe} \times \sqrt{\frac{1}{neff}}$$

$$= \pm \sqrt{3,01} \times \sqrt{1,61} \times \sqrt{\frac{1}{3}}$$

$$= \pm (1,72) \times (1,27) \times (0,577)$$

$$= \pm 1,27$$

$$IC = 68,28 \pm 1,27$$

$$= 67,01 \text{ sampai } 69,54 \text{ (prediksi rata-rata konsumsi bahan bakar)}$$

- Margin 95% *Interval Confident (IC)*:

$$= \pm \sqrt{F(0,05; 1: 18)} \times \sqrt{MSe} \times \sqrt{\frac{1}{neff}}$$

$$= \pm \sqrt{4,41} \times \sqrt{1,61} \times \sqrt{\frac{1}{3}}$$

$$= \pm (1,53) \times (1,27) \times (0,577)$$

$$= \pm 1,53$$

$$IC = 68,28 \pm 1,53$$

$$= 66,74 \text{ sampai } 69,80 \text{ (prediksi rata-rata konsumsi bahan bakar)}$$

#### 4.2.5 Eksperimen konfirmasi konsumsi bahan bakar

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk menguji atau memverifikasi data eksperimen sebelumnya. Dalam menentukan eksperimen konfirmasi, maka dilakukan kombinasi antar level dan faktor yang paling optimal dari hasil eksperimen sebelumnya. Dengan tujuan untuk membuktikan bahwa kombinasi level dan faktor yang didapat benar-benar dapat mencapai tujuan eksperimen Taguchi yaitu meminimalkan deviasi dari nilai target dan mengurangi variasi respon kualitas yang dihasilkan. Eksperimen konfirmasi bertujuan untuk mendapatkan jumlah konsumsi bahan bakar yang optimal, dengan pengaturan perlakuan operasional lapangan sesuai dengan hasil eksperimen sebelumnya.

Adapun rancangan operasional lapangan adalah sebagai berikut:

- Faktor A (*Economy Mode On*) pada level 3 dengan durasi aktif  $\geq 11$  jam.
- Faktor B (*Inclination*) pada level 1 dengan medan jalan yang dilalui  $\leq 3\%$ .
- Faktor C (*Payload*) pada level 1 dengan beban muatan 91- 95 ton.
- Faktor D (*Travel speed*) pada level 1 rata-rata kecepatan unit  $\leq 17$  km/h.

Tabel 4.19 Hasil *S/N Ratio* eksperimen konfirmasi konsumsi bahan bakar

| Eks       | Konsumsi bahan bakar (Eksperimen Konfirmasi) |       |       |        |        |                  |
|-----------|----------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|------------------|
|           | 1                                            | 2     | 3     | Total  | Mean   | <i>S/N Ratio</i> |
| 1         | 70,20                                        | 74,30 | 72,50 | 217,00 | 72,333 | -37,19           |
| 2         | 76,95                                        | 70,40 | 74,25 | 221,60 | 73,867 | -37,37           |
| 3         | 71,70                                        | 66,60 | 74,20 | 212,50 | 70,833 | -37,01           |
| 4         | 71,40                                        | 75,70 | 75,00 | 222,10 | 74,033 | -37,39           |
| 5         | 70,40                                        | 75,00 | 67,20 | 212,60 | 70,867 | -37,02           |
| 6         | 70,50                                        | 73,80 | 69,60 | 213,90 | 71,300 | -37,06           |
| 7         | 67,10                                        | 72,90 | 73,50 | 213,50 | 71,167 | -37,05           |
| 8         | 71,80                                        | 66,10 | 67,90 | 205,80 | 68,600 | -36,73           |
| 9         | 73,00                                        | 73,30 | 66,40 | 212,70 | 70,900 | -37,02           |
| Rata-rata | 71,54                                        |       |       | 214,63 | 71,54  | -37,10           |

Dari hasil eksperimen konfirmasi konsumsi bahan bakar *dump truck* HD785 diatas, maka didapatkan nilai rata-rata eksperimen konfirmasi dengan hasil sebesar 71,54 liter/jam. Nilai *S/N Ratio* -nya dihitung dengan menggunakan karakteristik kualitas *smaller is better* sehingga didapatkanlah *S/N Ratio* dari hasil eksperimen konfirmasi konsumsi bahan bakar *dump truck* HD785 sebesar -37,10 dB.

Selanjutnya dilakukan penghitungan interval kepercayaan (*confidence interval*) ulang untuk prediksi rata-rata hasil eksperimen konfirmasi. Namun, sebelum dilakukan penghitungan interval kepercayaan, dilakukan penghitungan selisih rata-rata (*mean difference*) dan selisih kuadrat (*square difference*) sebagai dasar penghitungan awal dalam menentukan nilai penghitungan selanjutnya.

Tabel 4.20 *Mean difference dan square difference* hasil eksperimen konfirmasi

| Eks       | <i>Fuel Consupmtion (liter/hours)</i> |                    |                    | <i>Mean</i> | <i>Mean Difference</i> | <i>Square Difference</i> |
|-----------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
|           | <i>Fuel Rate 1</i>                    | <i>Fuel Rate 2</i> | <i>Fuel Rate 3</i> |             |                        |                          |
| 1         | 70,20                                 | 74,30              | 72,50              | 72,3        | 0,79                   | 0,62                     |
| 2         | 76,95                                 | 70,40              | 74,25              | 73,9        | 2,32                   | 5,39                     |
| 3         | 71,70                                 | 66,60              | 74,20              | 70,8        | -0,71                  | 0,51                     |
| 4         | 71,40                                 | 75,70              | 75,00              | 74,0        | 2,49                   | 6,19                     |
| 5         | 70,40                                 | 75,00              | 67,20              | 70,9        | -0,68                  | 0,46                     |
| 6         | 70,50                                 | 73,80              | 69,60              | 71,3        | -0,24                  | 0,06                     |
| 7         | 67,10                                 | 72,90              | 73,50              | 71,2        | -0,38                  | 0,14                     |
| 8         | 71,80                                 | 66,10              | 67,90              | 68,6        | -2,94                  | 8,67                     |
| 9         | 73,00                                 | 73,30              | 66,40              | 70,9        | -0,64                  | 0,42                     |
| Rata-rata |                                       |                    | 71,54              |             |                        | 2,50                     |

Untuk menentukan nilai prediksi rata-rata konsumsi bahan bakar pada kondisi optimal perlu dilakukan penghitungan menentukan simpangan baku, standar error, dan nilai t. Karena pada proses eksperimen konfirmasi tidak menggunakan proses ANOVA. Maka tingkat kepercayaan yang digunakan adalah pada level 90% dan 95%. Berikut proses penghitungannya:

- a. Menentukan nilai simpangan baku.

$$S = \frac{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}}{9-i} = \sqrt{2,50 / 8} = 0,197$$

- b. Menentukan nilai standar error

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,197}{\sqrt{9}} = 0,065$$

- c. Menentukan nilai t

Nilai t diperoleh dari tabel distribusi t-statistik, dengan:

Derajat bebas = df:  $n - 1 = 27 - 1 = 26$

1. Tingkat kepercayaan 90%  $\rightarrow t_{0,10 ; 1 ; 8} = 2,30600$

2. Tingkat kepercayaan 95%  $\rightarrow t_{0,05 ; 1 ; 8} = 1,85955$

- d. Menghitung interval kepercayaan konsumsi bahan bakar pada tingkat kepercayaan 90%.

$$\begin{aligned} CI &= \bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 71,54 \pm (2,306 \times 0,065) \\ &= 71,54 \pm 0,150 \\ &= 71,39 \text{ sampai } 71,69 \end{aligned}$$

- e. Menghitung interval kepercayaan konsumsi bahan bakar pada tingkat kepercayaan 95%.

$$\begin{aligned} CI &= \bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 71,54 \pm (1,859 \times 0,065) \\ &= 71,54 \pm 0,1208 \\ &= 71,42 \text{ sampai } 71,66 \end{aligned}$$

Sehingga kesimpulannya dari prediksi rata-rata konsumsi bahan bakar pada kondisi

optimal terletak pada rentang interval kepercayaan:

- a. 90%, antara 71,39 sampai 71,69 liter/jam
- b. 95%, antara 71,42 sampai 71,66 liter/jam

Setelah angka rata-rata dan *S/N Ratio* hasil dari eksperimen konfirmasi didapatkan, kemudian angka-angka tersebut dibandingkan antara jumlah konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah dilakukan eksperimen Taguchi.

Tabel 4.21 Perbandingan kondisi konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah eksperimen Taguchi

| Konsumsi Bahan Bakar      | Sebelum Eksperimen | Setelah Eksperimen |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Minimal                   | 67,68              | 66,10              |
| Maksimal                  | 79,78              | 76,95              |
| Rata-rata ( <i>Mean</i> ) | 74,32              | 71,54              |
| <i>S/N Ratio</i>          | -37,42             | -37,10             |

Tabel 4.21 menunjukkan perbandingan kondisi jumlah konsumsi bahan bakar *dump truck HD785* sebelum dan sesudah dilakukan eksperimen Taguchi. Perbandingan angka minimal dan maksimal dari angka rata-rata (*mean*), dan *S/N Ratio*. Dari tabel dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan eksperimen, angka minimal jumlah konsumsi bahan bakar yang dihasilkan sebesar 67,68 liter/jam, sedangkan maksimalnya 79,78 liter/jam. Setelah dilakukan eksperimen rentang minimal konsumsi bahan bakar menurun menjadi 66,10 liter/jam, lalu jumlah maksimalnya sebesar 76,95 liter/jam. Hal ini juga terjadi pada peningkatan angka *S/N Ratio* yang mengalami peningkatan dari -37,42 dB menjadi -37,10 dB.

Dengan demikian dapat terbukti bahwa setelah dilakukan perbaikan melalui eksperimen Metode Taguchi sesuai rancangan operasional, jumlah konsumsi bahan bakar yang dihasilkan dapat menjauh dari batas atas dari ketentuan manajemen PT. ABC sebesar 76 liter/jam. Sehingga dapat ditarik kesimpulan, bahwa kombinasi level dan faktor optimal yang diperoleh dari hasil eksperimen Taguchi terbukti dapat meminimalkan deviasi dan mengurangi variasi jumlah konsumsi bahan bakar.

### 4.3 Verifikasi Eksperimen Konfirmasi Kondisi Optimal

Tahap verifikasi eksperimen *fuel ratio* dan analisis regresi linier berganda pada dasarnya sama seperti yang dilakukan pada eksperimen konfirmasi metode Taguchi. Tujuannya adalah untuk memverifikasi eksperimen konfirmasi dan memastikan apakah nilainya masih berlinier atau tidak. Hal ini dilakukan karena nilai variabelnya telah berubah dampak dari penggabungan kombinasi nilai level dan faktor pada pengaturan kondisi optimal.

#### 4.3.1 Verifikasi konfirmasi *fuel ratio*

Tabel 4.22 Data kinerja unit eksperimen konfirmasi kondisi optimal

| NO | Code Number | Fuel Consumption (liter/hours) X1 | Productivity (bcm/hours.km) X2 | Fuel Ratio Y |
|----|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1  | DT566XX     | 67,1                              | 254,9                          | 0,26         |
| 2  | DT566XX     | 70,4                              | 277,4                          | 0,25         |
| 3  | DT406XX     | 76,4                              | 236,3                          | 0,32         |
| 4  | DT372XX     | 74,2                              | 257,3                          | 0,29         |
| 5  | DT436XX     | 75,5                              | 235,4                          | 0,32         |
| 6  | DT479XX     | 70,4                              | 273,8                          | 0,26         |
| 7  | DT349XX     | 76,4                              | 198,2                          | 0,39         |
| 8  | DT320XX     | 74,2                              | 199,2                          | 0,37         |
| 9  | DT320XX     | 70,4                              | 190,4                          | 0,37         |
| 10 | DT481XX     | 76,4                              | 190,3                          | 0,40         |
| 11 | DT496XX     | 74,2                              | 192,6                          | 0,39         |
| 12 | DT528XX     | 75,5                              | 193,4                          | 0,39         |
| 13 | DT529XX     | 67,1                              | 239,7                          | 0,28         |
| 14 | DT391XX     | 71,4                              | 212,7                          | 0,34         |
| 15 | DT503XX     | 76,4                              | 210,4                          | 0,36         |
| 16 | DT394XX     | 70,4                              | 192,4                          | 0,37         |
| 17 | DT394XX     | 76,4                              | 250,7                          | 0,30         |
| 18 | DT459XX     | 74,2                              | 241,9                          | 0,31         |
| 19 | DT403XX     | 75,5                              | 243,3                          | 0,31         |
| 20 | DT487XX     | 72,4                              | 257,2                          | 0,28         |
| 21 | DT418XX     | 67,1                              | 240,1                          | 0,28         |

|           |         |       |        |      |
|-----------|---------|-------|--------|------|
| 22        | DT409XX | 70,4  | 256,9  | 0,27 |
| 23        | DT459XX | 76,4  | 235,6  | 0,32 |
| 24        | DT458XX | 74,2  | 252,4  | 0,29 |
| 25        | DT458XX | 75,5  | 276,5  | 0,27 |
| 26        | DT435XX | 67,1  | 225,1  | 0,30 |
| 27        | DT487XX | 67,1  | 255,7  | 0,26 |
| Rata-rata |         | 72,69 | 232,96 | 0,32 |

Penetapan nilai standar parameter setiap variabel *fuel consumption* maksimal  $\leq 76$  l/h, *productivity* minimal  $\geq 231$  bcm/km.h, dan *fuel ratio* maksimal  $\leq 0,33$ . Nilai hasil eksperimen pertama, sebelumnya *fuel consumption* 74,39 l/h, *productivity* 239,69 bcm/h.km, dan *fuel ratio* 0,31. Lalu setelah dilakukan eksperimen konfirmasi pada kondisi optimal, diperoleh data pada *fuel consumption* sebesar 72,69 l/h, *productivity* sebesar 234,21 bcm/h.km, dan *fuel ratio* sebesar 0,30. Maka, kesimpulannya setelah dilakukan penghitungan eksperimen konfirmasi pada kondisi optimal, nilainya dapat memenuhi target yang ditetapkan. Meskipun pada item *productivity* nilainya turun dari sebelumnya 239,69 bcm/h.km menjadi 232,96 bcm/h.km, yang berarti bahwa terjadi penurunan produktivitas dari angka yang ditetapkan dari implementasi kondisi optimal. Nilai satuan parameter yang tidak memenuhi nilai harapan yaitu pada unit *code number*:

1. *Productivity*

DT349XX, DT320XX, DT481XX, DT496XX , DT528XX, DT529XX,  
DT391XX, DT528XX

2. *Fuel Consumption*

DT406XX, DT349XX, DT481XX, DT503XX, DT394XX, DT459XX

3. *Fuel Ratio*

DT320XX, DT320XX, DT481XX, DT496XX, DT528XX, DT503XX,  
DT394XX

#### 4.3.2 Verifikasi analisis regresi linier berganda

##### 1. Pengujian asumsi klasik

###### a. *Multikolinieritas*

Setelah dilakukan pengaturan kondisi optimal pada eksperimen konfirmasi tetap tidak terjadi *multikolinieritas* pada kedua variabel bebas tersebut.

Nilai VIF variabel *fuel consumption* dan *productivity* sebesar 1,057 dengan nilai toleransi sebesar 0.946 tidak lebih besar dari 10.

Tabel 4.23 Data uji *multikolinieritas* kondisi optimal

| Coefficient                        |                       |                             |            |                           |         |       |                         |       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|-------|-------------------------|-------|
|                                    |                       | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |         |       |                         |       |
|                                    |                       | B                           | Std. Error | Beta                      | t       | Sig.  | Collinearity Statistics |       |
| Model                              | (Constant)            | 36.343                      | 2.625      |                           | 13.847  | 0.000 |                         |       |
|                                    | Fuel Consumption (X1) | 0.041                       | 0.003      | 0.297                     | 13.049  | 0.000 | 0.946                   | 1.057 |
|                                    | Productivity (X2)     | 0.015                       | 0.000      | -0.883                    | -38.828 | 0.000 | 0.946                   | 1.057 |
| Dependent Variable: Fuel Ratio (Y) |                       |                             |            |                           |         |       |                         |       |

###### b. *Autokorelasi*

Angka *Durbin-Watson* menunjukkan angka 2,143 dengan dua variabel bebas (k) dan 27 sampel (n), maka nilai dL dan dU pada tingkat signifikansi (error) 5% ( $\alpha = 0,05$ ) didapatkan nilai dL = 1,2399 dan nilai dU = 1,5562.

Tabel 4.24 Data uji *autokorelasi* kondisi optimal

| Model Summary                                                       |                    |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|----------|-----|-----|---------------|-------|
| Model                                                               | R                  | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change | D-W   |
| 1                                                                   | 0.994 <sup>a</sup> | 0.988    | 0.987             | 0.548                      | 0.988           | 964.505  | 2   | 24  | 0.000         | 2.143 |
| a. Predictors: (Constant), Productivity (X2), Fuel Consumption (X1) |                    |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
| b. Dependent Variable: Fuel Ratio (Y)                               |                    |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |

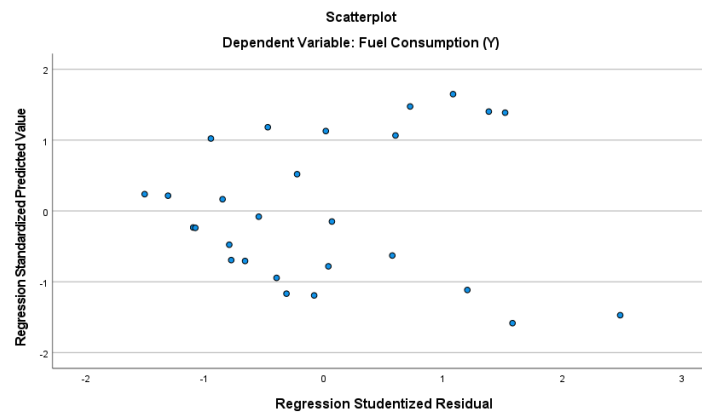
Hipotesisnya adalah:

- H0: Tidak terdapat *autokorelasi* dalam residual regresi.
- H1: Terdapat *autokorelasi* dalam residual regresi.

Berdasarkan nilai *Durbin-Watson* sebesar 2,143 maka  $H_0$  dapat diterima, atau dengan kata lain tidak terdapat *autokorelasi* positif dalam data.

c. *Heteroskedastisitas*

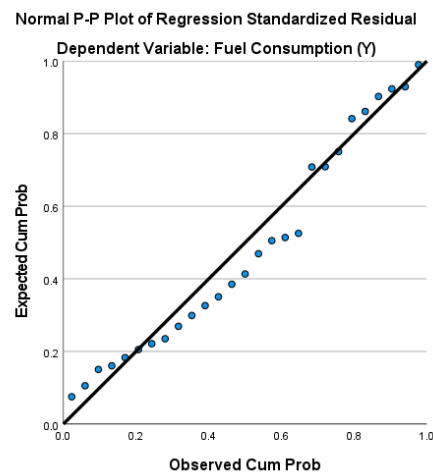
Dari grafik dibawah menunjukkan tidak terdapat titik-titik yang berpola, titik-titiknya menyebar secara acak diatas maupun dibawah angka 0 disumbu y, sehingga dalam grafik tersebut tidak terjadi *heteroskedastisitas*.



Gambar 4.5 Diagram *scatterplot* uji *heteroskedastisitas* kondisi optimal

d. *Normalitas*

Sebaran titik-titik pada gambar 4.6 grafik *normal P-P Plot* relatif mendekati garis, yang berarti bahwa data residual terdistribusi normal.



Gambar 4.6 Diagram *Normal P-P Plot* uji *normalitas* kondisi optimal

## 2. Uji kelayakan model

### a. Uji keandalan model (Uji F)

Nilai *prob.* F-hitung (*sig.*) sebesar 0,000 lebih kecil dari signifikansi 0,05 sehingga model regresi linier yang diestimasi layak digunakan untuk menjelaskan pengaruh *productivity* dan *fuel consumption* terhadap variabel terikat *fuel ratio*.

Tabel 4.25 Uji keandalan model (Uji F) kondisi optimal

| ANOVA                                                               |            |               |    |             |         |       |
|---------------------------------------------------------------------|------------|---------------|----|-------------|---------|-------|
| Model                                                               |            | Sum of Square | df | Mean Square | F       | Sig.  |
| 1                                                                   | Regression | 578.799       | 2  | 289.399     | 964.505 | 0.000 |
|                                                                     | Residual   | 7.201         | 24 | 0.300       |         |       |
|                                                                     | Total      | 586.000       | 26 |             |         |       |
| a. Predictors: (Constant), Productivity (X2), Fuel Consumption (X1) |            |               |    |             |         |       |
| b. Dependent Variable: Fuel Ratio (Y)                               |            |               |    |             |         |       |

### b. Uji koefisien regresi

Nilai *prob.* T-hitung dari variabel bebas *fuel consumption* kolom B sebesar  $0,041 < 0,05$  tetapi *productivity* sebesar  $0,015 < 0,05$ . Sehingga variabel bebas (*fuel consumption* dan *productivity*) berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat *fuel ratio* pada taraf keyakinan 95% (*alpha* 5%).

Tabel 4.26 Uji koefisien regresi kondisi optimal

| Coefficient                        |                       |                             |            |                           |         |       |           |       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|-------|-----------|-------|
|                                    |                       | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |         |       |           |       |
|                                    |                       | B                           | Std. Error | Beta                      | t       | Sig.  | Tolerance | VIF   |
| Model                              | (Constant)            | 36.343                      | 2.625      |                           | 13.847  | 0.000 |           |       |
|                                    | Fuel Consumption (X1) | 0.041                       | 0.003      | 0.297                     | 13.049  | 0.000 | 0.946     | 1.057 |
|                                    | Productivity (X2)     | 0.015                       | 0.000      | -0.883                    | -38.828 | 0.000 | 0.946     | 1.057 |
| Dependent Variable: Fuel Ratio (Y) |                       |                             |            |                           |         |       |           |       |

c. Koefisien determinasi

*R-Square* sebesar 0,911 atau 91,1% menunjukkan bahwa proporsi pengaruh variabel *fuel consumption* dan *productivity* terhadap variabel *fuel ratio* sebesar 91,1 %. Selisih 8,9% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak ada didalam model regresi linier.

Tabel 4.27 Uji koefisien determinasi kondisi optimal

| Model Summary                                                       |                    |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-------------------|----------------------------|-----------------|----------|-----|-----|---------------|-------|
| Model                                                               | R                  | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change | D-W   |
| 1                                                                   | 0.994 <sup>a</sup> | 0.988    | 0.987             | 0.548                      | 0.988           | 964.505  | 2   | 24  | 0.000         | 2.143 |
| a. Predictors: (Constant), Productivity (X2), Fuel Consumption (X1) |                    |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |
| b. Dependent Variable: Fuel Ratio (Y)                               |                    |          |                   |                            |                 |          |     |     |               |       |

3. Interpretasi model

Dari pengujian melalui analisis regresi linier menunjukkan bahwa pengaturan kondisi optimal dari eksperimen konfirmasi hasilnya tetap sesuai sama seperti pada saat eksperimen awal. Artinya bahwa pengaturan kondisi optimal dari eksperimen konfirmasi melalui uji analisis regresi linier terbukti positif. Hal ini dapat memperkuat pengambilan keputusan terhadap rancangan operasional efisiensi bahan *dump truck* HD785.

Tabel 4.28 Uji kelayakan koefisien kondisi optimal

| Coefficient                        |                       |                             |            |                           |         |       |           |       |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|-------|-----------|-------|
|                                    |                       | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |         |       |           |       |
|                                    |                       | B                           | Std. Error | Beta                      | t       | Sig.  | Tolerance | VIF   |
| Model                              | (Constant)            | 36.343                      | 2.625      |                           | 13.847  | 0.000 |           |       |
|                                    | Fuel Consumption (X1) | 0.041                       | 0.003      | 0.297                     | 13.049  | 0.000 | 0.946     | 1.057 |
|                                    | Productivity (X2)     | 0.015                       | 0.000      | -0.883                    | -38.828 | 0.000 | 0.946     | 1.057 |
| Dependent Variable: Fuel Ratio (Y) |                       |                             |            |                           |         |       |           |       |

Koefisien regresi untuk variabel *fuel consumption* sebesar 0,041 dan variabel *productivity* sebesar 0,015. Koefisien regresi *fuel consumption* dan *productivity* bernilai positif artinya:

- a. Ketika *fuel consumption* turun, maka jumlah *fuel ratio* juga akan turun.
- b. Ketika *fuel consumption* naik, maka jumlah *fuel ratio* juga akan naik.
- c. Kenaikan *fuel consumption* sebesar 1 liter/jam, akan meningkatkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0.015 bcm/liter. Penurunan *fuel consumption* sebesar 1 liter/jam, akan menurunkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0,015 bcm/liter.
- d. Ketika *productivity* turun, maka jumlah *fuel ratio* akan naik
- e. Ketika *productivity* naik, maka jumlah *fuel ratio* akan turun.
- f. Kenaikan *productivity* 1 bcm/h.km akan menurunkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0,001 bcm/liter, penurunan *productivity* 1 bcm/h.km akan meningkatkan jumlah *fuel ratio* sebesar 0,001 bcm/liter.

#### 4.4 Penghitungan Aspek Produktivitas Menggunakan *Main Effect Analysis*

Analisis pencapaian produktivitas menggunakan metode penghitungan *main effect analysis* dari hasil pencapaian produktivitas aktual pada eksperimen sebelumnya. Selanjutnya dilakukan analisis hasil eksperimen dari pengaruh faktor dan level untuk mengukur dampak pencapaian produktivitas. Sehingga didapatkan gambaran perbandingan antara efisiensi penggunaan bahan bakar dengan produktivitas yang dihasilkan. Perbandingan ini dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan oleh manajemen terkait kombinasi level optimum dari tiap model operasi mana yang akan diimplementasikan di lapangan.

Tabel 4.29 Penetapan faktor dan level eksperimen produktivitas

| Faktor                     | Level     |                    |           |
|----------------------------|-----------|--------------------|-----------|
|                            | 1         | 2                  | 3         |
| <i>Economy Mode On (h)</i> | $\leq 5$  | 6 – 10 (avg 7,5)   | $\geq 11$ |
| <i>Inclination (%)</i>     | $\leq 3$  | 4 – 5 (avg 4,5)    | $\geq 6$  |
| <i>Payload (ton)</i>       | $\leq 90$ | 91 – 95 (avg 92,5) | $\geq 96$ |
| <i>Travel Speed (km/h)</i> | $\leq 17$ | 18 – 21 (avg 19,5) | $\geq 22$ |

Pengaruh faktor terhadap rata-rata pencapaian produktivitas. Dalam penghitungan ini pada level 2 dibuat dalam bentuk rata-rata, agar memudahkan dalam proses penghitungan sebagai titik tengah nilai pengujian dalam proses eksperimen.

Tabel 4.30 Hasil eksperimen pencapaian produktivitas

| Eks | Faktor  |          |          |           | Produktivitas |         |         | Mean   |
|-----|---------|----------|----------|-----------|---------------|---------|---------|--------|
|     | Eco (h) | Incl (%) | PL (ton) | TS (km/h) | Level 1       | Level 2 | Level 3 |        |
| 1   | 5       | 3        | 90       | 17        | 254,90        | 190,30  | 243,30  | 229,50 |
| 2   | 5       | 4,5      | 92,5     | 19,5      | 277,40        | 192,60  | 257,20  | 242,40 |
| 3   | 5       | 6        | 96       | 22        | 236,30        | 193,40  | 240,10  | 223,27 |
| 4   | 7,5     | 3        | 92,5     | 22        | 257,30        | 239,70  | 256,90  | 251,30 |
| 5   | 7,5     | 4,5      | 96       | 17        | 235,40        | 212,70  | 235,60  | 227,90 |
| 6   | 7,5     | 6        | 90       | 19,5      | 273,80        | 210,40  | 252,40  | 245,53 |
| 7   | 11      | 3        | 96       | 19,5      | 198,20        | 192,40  | 276,50  | 222,37 |
| 8   | 11      | 4,5      | 90       | 22        | 199,20        | 250,70  | 225,10  | 225,00 |
| 9   | 11      | 6        | 92,5     | 17        | 190,40        | 241,90  | 255,70  | 229,33 |
|     |         |          |          | Total     | 6.289,80      |         |         | 232,96 |

1. Penghitungan nilai *main effect analysis* dari hasil eksperimen produktivitas

*Main effect analysis* dari rata-rata hasil eksperimen pada aspek produktivitas bertujuan untuk memastikan dan mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap pencapaian produktivitas. Berikut ini adalah hasil penghitungan *main effect Analysis* dari rata-rata hasil eksperimen aspek produktivitas dalam satuan Bcm/jam.

$$\text{a. Eco (h) A level 1} = \frac{SSA}{SST} = \frac{229,50 + 242,40 + 223,27}{3} = 232,96$$

$$\text{b. Eco (h) A level 2} = \frac{SSA}{SST} = \frac{251,30 + 227,90 + 245,53}{3} = 232,96$$

$$\text{c. Eco (h) A level 3} = \frac{SSA}{SST} = \frac{222,37 + 225,00 + 229,33}{3} = 232,96$$

Dan berlaku yang sama seterusnya untuk faktor B *Incl (%)* pada level 1, 2, dan 3. Faktor C *PL (ton)* pada level 1, 2, dan 3, serta faktor D *PL (ton) TS (km/h)* D pada level 1, 2, dan 3. Sehingga didapatkan data seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.31 Hasil penghitungan *main effect analysis* produktivitas

| Rata-rata level | Faktor                |                        |                        |                         |
|-----------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
|                 | <i>Eco (h)</i><br>(A) | <i>Incl (%)</i><br>(B) | <i>PL (ton)</i><br>(C) | <i>TS (km/h)</i><br>(D) |
| Level 1         | 231,72                | 234,39                 | 233,34                 | 228,91                  |
| Level 2         | 241,58                | 231,77                 | 241,01                 | 236,77                  |
| Level 3         | 225,57                | 232,71                 | 224,51                 | 233,19                  |
| Efek            | 16,01                 | 2,62                   | 16,50                  | 7,86                    |
| Peringkat       | 2                     | 4                      | 1                      | 3                       |
| Optimum         | A2                    | B1                     | C2                     | D2                      |

Efek tiap faktor pada Tabel 4. dapat dilihat peringkat pengaruh dari setiap faktor mulai yang terbesar sampai yang terkecil. Mengingat tujuan target dalam meningkatkan respon *ouput* pada aspek prouktivitas, maka jenis karakteristik yang dipakai adalah *large is better*. Sehingga dipilih faktor yang dapat menghasilkan produktivitas terbesar dari level dan faktor dalam eksperimen tersebut, untuk melengkapi hasil eksperimen konsumsi bahan bakar. Dari data *main effect analysis* pada aspek produktivitas diatas diketahui bahwa faktor yang memiliki hasil terbesar dari setiap level adalah *economy mode on* pada level 2 sebesar 241,58 bcm/jam, *inclination* pada level 1 sebesar 234,39 bcm/jam, *payload* pada level 2 sebesar 241,01 bcm/jam, dan *travel speed* pada level 2 sebesar 236,77 bcm/jam. Sehingga faktor yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap aspek produktivitas terletak pada level A2, B1, C2, dan D2.

## 2. Kombinasi level faktor optimal untuk produktivitas

Sesuai hasil eksperimen pada aspek produktivitas didapatkan kombinasi optimum level faktor untuk mencapai produktivitas yang optimal. Berikut kombinasi yang digunakan:

Tabel 4.32 Level faktor kontrol optimal untuk produktivitas

| Label | Faktor kontrol             | Level optimal | Nilai level |
|-------|----------------------------|---------------|-------------|
| A     | <i>Economy Mode On (h)</i> | 2             | 6 - 10      |
| B     | <i>Inclination (%)</i>     | 1             | $\leq 3$    |
| C     | <i>Payload (ton)</i>       | 2             | 91 - 95     |
| D     | <i>Travel Speed (km/h)</i> | 2             | 18 - 21     |

### 3. Kombinasi level faktor optimal untuk bahan bakar dan produktivitas

Terdapat dua kombinasi level faktor yang dihasilkan yaitu kombinasi level faktor untuk aspek penurunan jumlah konsumsi bahan bakar dan aspek peningkatan produktivitas. Berikut tabel kombinasi level faktor untuk optimalisasi bahan bakar dan optimalisasi produktivitas.

Tabel 4.33 Kombinasi optimal level faktor tiap aspek

|                     | Kombinasi optimal level faktor |                        |                      |                            |
|---------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------|
|                     | <i>Economy Mode On (h)</i>     | <i>Inclination (%)</i> | <i>Payload (ton)</i> | <i>Travel Speed (km/h)</i> |
| Aspek bahan bakar   | $\geq 11$                      | $\leq 3$               | 91 - 95              | $< 17$                     |
| Aspek produktivitas | 6 - 10                         | $\leq 3$               | 91 - 95              | 18 - 21                    |

## 4.5 Penghitungan Biaya

### 1. Biaya *regrade* jalan

*Regrade* adalah suatu upaya untuk mendapatkan kemiringan (*inclination*) jalan ke elevasi yang diinginkan dengan metode *cut and fill*, baik penambahan elevasi maupun pengurangan elevasi disertai dengan pemadatan diarea permukaan jalan. Dalam menentukan biaya *regrade* jalan, langkah pertama adalah melakukan penghitungan luasan jalan yang akan dilakukan rekayasa kemiringan jalan. *Regrade* jalan dimulai dari *grade* awal dikurangi *grade* yang diinginkan, lalu dikonversi terhadap biaya per meter kubik ( $m^3$ ). Asumsi biaya *regrade* jalan disimulasikan nilai *grade* jalan yang akan direkayasa sebesar 1% dari sebelumnya 10% menjadi 9%. Berikut teori perumusannya:

$$\text{a. Selisih elevasi} : \Delta h = (G_1 - G_2) \times L \quad (4.1)$$

$$\text{b. Luas Penampang} : A = \frac{1}{2} \Delta h \times L \quad (4.2)$$

$$\text{c. Volume} : V = A \times W \quad (4.3)$$

$$\text{d. Biaya Total} : C = V \times H \quad (4.4)$$

Keterangan:

- $G_1$  : *grade* awal
- $G_2$  : *grade* akhir
- $L$  : panjang jalan
- $W$  : lebar jalan
- $H$  : harga per  $\text{m}^3$  *cut and fill*
- $C$  : Cost
- $V$  : Volume

Berikut urutan penghitungan biaya *regrade* jalan:

- 1) *Grade* (%) didefinisikan sebagai perubahan elevasi terhadap panjang horizontal (Garber, J, N., Hoel, A, L., 2009):

$$\text{Grade} = \frac{\Delta h}{L} \times 100\% \quad (4.5)$$

Maka elevasi total untuk panjang  $L$ :

$$\Delta h = \text{Grade} \times L \quad (4.)$$

- 2) Selisih elevasi akibat perubahan *grade*

*Grade* awal %  $\rightarrow$  elevasi awal:

$$h_{10\%} = 0.10 \times 100 = 10 \text{ m}$$

*Grade* baru 9%  $\rightarrow$  elevasi baru:

$$h_{9\%} = 0.09 \times 100 = 9 \text{ m}$$

Selisih tinggi:

$$\Delta h = h_{10\%} - h_{9\%} = 1 \text{ m}$$

- 3) Luas penampang perubahan *grade* (*triangular wedge*)

Perubahan elevasi dari 0  $\rightarrow$  1 m sepanjang 100 m menghasilkan bentuk trapesium segitiga (*linear transition wedge*). Rumus luas irisan segitiga:

$$A = \frac{1}{2} \times \text{tinggi} \times \text{panjang}$$

$$A = \frac{1}{2} \times \Delta h \times L$$

4) Rumus volume *cut* (*earthwork volume*)

Volume = luas penampang  $\times$  lebar jalan:

$$V = A \times W$$

$$V = \left(\frac{1}{2} \Delta h \times L\right) \times W$$

$$V = \left(\frac{1}{2} \times 1 \times 100\right) \times 25 = 1250 \text{ m}^3$$

5) Biaya *regrade*

a) Data jalan

- ✓ Total panjang jalan : 2 kilometer
- Panjang jalan grade jalan  $\leq 3\%$  : 1362 meter
- Panjang jalan grade jalan 4% : 336 meter
- Panjang jalan grade jalan 5% : 159 meter
- Panjang jalan grade jalan 6% : 131 meter
- Panjang jalan grade jalan 7% : 12 meter
- ✓ Total deviasi jalan  $> 3\%$  : 638
- ✓ Lebar jalan : 25 meter

b) Biaya *regrade* jalan per meter kubik

Sebagai acuan untuk harga *cut and fill* jalan diasumsikan seperti informasi yang diunggah pada laman <https://www.artha-konstruksi.com/harga-jasa-kontraktor-cut-and-fill/>. Dari lama tersebut terdapat variasi harga biaya *cut and fill* jalan tergantung dari kondisi dan kesulitan medan. Rentang harga yang ditawarkan tiap 1 m<sup>3</sup> antara Rp40.000,00 sampai dengan Rp120.000,00 tergantung volume yang dikerjakan. Semakin besar volumenya maka biayannya

akan lebih murah jika dibanding dengan jumlah volume yang sedikit. Sesuai rentang biaya diatas per meter kubik, maka dibuat asumsi biaya per meter kubik sebesar Rp100.000,00. Asumsi biaya yang diperlukan untuk pekerjaan *regrade* jalan adalah sebagai berikut:

- $\Delta h_1 = h_{awal} - h_{akhir}$   
 $= 4 - 3$   
 $= 1 \text{ meter}$
- $\Delta h_2 = h_{awal} - h_{akhir}$   
 $= 5 - 3$   
 $= 2 \text{ meter}$
- $\Delta h_3 = h_{awal} - h_{akhir}$   
 $= 6 - 3$   
 $= 3 \text{ meter}$
- $\Delta h_4 = h_{awal} - h_{akhir}$   
 $= 7 - 3$   
 $= 4 \text{ meter}$
- Total luasan *inclination* jalan yang harus distandarkan ke *inclination* 3%:  
 $= (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4) \times \text{Deviasi panjang jalan} \times \text{Lebar jalan}$   
 $= 7 \times 638 \times 25$   
 $= 111650 \text{ m}^3$

Maka, total biaya yang dikeluarkan adalah:

$$C = V \times H$$

Total biaya:

$$= 111650 \text{ m}^3 \times \text{Rp}100.000,00$$

$$= \text{Rp}11.165.000.000,00$$

Dalam simulasi ini didapatkan angka nilai biaya untuk melakukan *regrade* jalan pada volume pekerjaan sebanyak 111650 m<sup>3</sup> adalah sebesar Rp11.165.000.000,00. Atau untuk setiap 1 meter kubik diperlukan biaya sebesar Rp100.000,00.

## 2. Penghematan biaya bahan bakar

Dalam menghitung biaya bahan bakar menggunakan acuan harga solar industri jenis Biosolar B40, dengan acuan harga pasaran pada periode triwulan pertama tahun 2025 untuk wilayah 2 meliputi seluruh pulau kalimantan. Seperti yang dikutip dari laman <https://www.solarmurah.com/2025/03/harga-solar-industri-terbaru-hari-ini.html?m=1> adalah sebesar Rp22.500,00.

- Harga bahan bakar per liter : Rp22.500,00
- Penghematan bahan bakar per jam : 1,7 liter/jam

Nilai penghematan bahan bakar:

= Harga bahan bakar x Penghematan bahan bakar

= Rp22.500,00 x 1,75 liter

= Rp38.250,00 per jam per unit

Maka besarnya nilai penghematan bahan bakar sebesar 1,75 liter/jam adalah setara dengan Rp38.250,00 per jam per unit.

Tabel 4.34 Perbandingan sebelum dan sesudah eksperimen

|                            | Rata-rata bahan bakar (liter/jam) | Rata-rata produktivitas (bcm/jam) |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Eksperimen 1               | 74,39                             | 239,69                            |
| Eksperimen kondisi optimal | 72,69                             | 232,96                            |
| Selisih                    | 1,7                               | 6,73                              |

Jika jumlah jam operasi dalam satu hari selama 20 jam, maka biaya bahan bakar yang dapat dihemat adalah Rp765.000,00 untuk setiap satu unit yang beroperasi.

## 3. Nilai kerugian produktivitas

Hitungan ini digunakan untuk menguji nilai kerugian dari sisi produktivitas dampak dari pengujian kondisi optimal hasil eksperimen. Nilai kerugian pada sisi produktivitas dihitung dari angka penurunan produktivitas alat angkut setiap jamnya seperti selisih pada Tabel 4.34 diatas, dikalikan dengan nilai material per 1 bcm.

- Asumsi harga 1 bcm/jam : US\$ 2 (US\$ 1 = Rp16.500,00)
- Loss produksi per jam : 1,7 bcm
- Operasi alat per hari : 20 Jam

$$\begin{aligned}
\text{Loss produktivitas} &= \text{Asumsi harga} \times \text{Loss produksi} \times \text{Jumlah jam operasi} \\
&= \text{Rp}33.000,00 \times 1,7 \times 20 \\
&= \text{Rp}1.122.000,00
\end{aligned}$$

Nilai kerugian operasi per unit yang beroperasi selama 20 jam dengan *loss* produktivitas sebesar 1,7 bcm/jam adalah Rp1.122.000,00 atau kerugian setiap jam sebesar Rp56.100,00.

#### 4. Nilai keekonomian

Penghitungan penghematan bahan bakar dengan dampak produktivitas ini bertujuan untuk mengasumsikan ukuran seberapa besar biaya yang dihemat dengan biaya yang ditimbulkan, dampak dari implementasi kondisi optimal eksperimen. Perbandingan penghematan biaya antara jumlah konsumsi bahan bakar dengan kehilangan jumlah material yang hilang setiap bcm/jam.

- Penghematan bahan bakar per jam : Rp38.250,00
- Loss produktivitas per jam : Rp56.100,00

$$\begin{aligned}
\text{Nilai penghematan} &= \text{Penghematan bahan bakar} - \text{Loss produktivitas} \\
&= \text{Rp}38.250,00 - \text{Rp}56.100,00 \\
&= - \text{Rp}17.850,00
\end{aligned}$$

Secara nilai keekonomian dari penghitungan diatas, maka jika kondisi optimal eksperimen diimplementasikan dilapangan secara pencapaian produktivitas mengalami kerugian sebesar Rp17.850,00 per jam per unit.

Sedangkan jika kondisi optimal hasil eksperimen akan diimplementasikan, maka diperlukan biaya tambahan untuk melakukan rekayasa *inclination* jalan dengan total jalan yang perlu direkayasa sebanyak 111650 m<sup>3</sup>. Biaya tambahan yang harus dikeluarkan adalah Rp11.165.000.000,00. Dalam implementasinya rekayasa *regrade* jalan sudah masuk dalam operasional keseharian, melalui aktifitas perawatan jalan yang sudah menjadi bagian dari sistem operasional. Sehingga biaya *regrade* jalan dapat diminimalkan atau bahkan dihilangkan dengan cara penyusunan rencana desain jalan tambang yang menargetkan *inclination* jalan tidak melebihi 3%. Perencanaan desain jalan tambang dan pembentukan jalan sejak awal yang memadai pada *inclination* 3%, merupakan cara yang lebih hemat dan tidak

memerlukan biaya tambahan untuk merubah atau merekayasa ulang bentuk *inclination / grade* jalan. Untuk itu pembentukan jalan dengan *inclination / grade* <3% harus dilakukan sejak awal, dengan memasukkan kedalam rencana desain jalan tambang.

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penghitungan parameter kinerja operasional unit *dump truck* HD785 di PT. ABC, yaitu *fuel consumption* dan *productivity*, dapat disimpulkan bahwa secara umum kinerja operasional telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh manajemen perusahaan. Dimana nilai dari setiap parameter kinerja menunjukkan bahwa rata-rata *fuel consumption* sebesar 74,39 l/h, masih berada dibawah batas maksimum yang ditetapkan sebesar 76 l/h. Rata-rata *productivity* sebesar 239,69 bcm/km.h, telah melampaui batas minimum yang ditetapkan sebesar 231 bcm/km.h. Sedangkan *fuel ratio* menunjukkan rata-rata sebesar 0,31 juga masih berada dibawah batas maksimum yang ditetapkan yaitu 0,33.

Hasil penelitian melalui pendekatan regresi linier berganda menunjukkan bahwa model regresi linier berganda yang digunakan dalam penelitian ini terbukti layak secara statistik. Hal ini didasarkan pada hasil uji asumsi klasik yang menunjukkan bahwa data memenuhi syarat bebas dari *multikolinieritas*, *autokorelasi*, *heteroskedastisitas*, dan distribusi residual normal. Dengan demikian, model yang dibangun valid untuk digunakan dalam melakukan estimasi dan prediksi terhadap variabel *fuel ratio*. Hasil Uji F menunjukkan bahwa model regresi secara simultan signifikan, dengan nilai signifikansi sebesar  $0,001 < 0,05$ . Hal ini membuktikan bahwa variabel bebas *fuel consumption* dan *productivity* secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap variabel terikat *fuel ratio*. Hasil pada Uji t menunjukkan bahwa kedua variabel bebas berpengaruh secara parsial terhadap variabel terikat. Nilai signifikansi untuk *fuel consumption* adalah 0,004 dan untuk *productivity* adalah 0,001, keduanya lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05. Artinya, masing-masing variabel bebas secara individu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *fuel ratio*. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,988 menunjukkan bahwa sebesar 98,8% variasi dalam *fuel ratio* dapat dijelaskan oleh variasi dalam *fuel consumption* dan *productivity*, sementara sisanya sebesar 1,2% dijelaskan oleh faktor-faktor lain di luar model yang tidak dianalisis dalam

penelitian ini. Interpretasi koefisien regresi menunjukkan hubungan positif antara *fuel consumption* dan *fuel ratio*, yang berarti bahwa peningkatan *fuel consumption* akan diikuti oleh peningkatan *fuel ratio*. Sementara itu, hubungan antara *productivity* dan *fuel ratio* juga ditunjukkan sebagai positif secara matematis, namun dalam konteks efisiensi operasional dapat mengindikasikan bahwa peningkatan *productivity* turut mendorong perbaikan pada nilai *fuel ratio*, yang mendukung optimalisasi kinerja bahan bakar.

Berdasarkan hasil eksperimen konsumsi bahan bakar pada unit *dump truck* HD785 dengan pendekatan metode Taguchi, didalamnya diperoleh beberapa temuan penting. Faktor yang berpengaruh signifikan dari hasil analisis *Analysis of Variance* (ANOVA), ditemukan bahwa tiga faktor utama yang secara signifikan memengaruhi rata-rata konsumsi bahan bakar. Diantaranya adalah *economy mode on* (Faktor A) dengan kontribusi sebesar 71,14% terhadap rata-rata dan 81,76% terhadap variabilitas konsumsi bahan bakar. *Inclination* (Faktor B) dengan kontribusi 4,62%, dan *payload* (Faktor C) sebesar 6,05%. Sementara itu, *travel speed* (Faktor D) hanya memberikan kontribusi kecil dan secara statistik tidak signifikan berpengaruh.

Pada penentuan kombinasi level yang optimal untuk menghasilkan konsumsi bahan bakar yang paling efisien. Ditunjukkan bahwa faktor A (*economy mode on*) optimum pada level 3, faktor B (*inclination*) optimum pada level 1, faktor C (*payload*) optimum pada level 2, dan faktor D (*travel speed*) optimum pada level 1. Kombinasi ini mampu meminimalkan deviasi dari nilai target konsumsi bahan bakar serta mengurangi variasinya secara bersamaan.

Dalam tahap prediksi dan validasi konsumsi bahan bakar yang optimal dari model prediksi. Rata-rata konsumsi bahan bakar pada kondisi optimal adalah 68,28 liter/jam, dengan selang kepercayaan 90% antara 67,01 – 69,54 liter/jam, dan 95% antara 66,74 - 69,80 liter/jam. Hasil eksperimen konfirmasi menunjukkan rata-rata konsumsi bahan bakar sebesar 71,54 liter/jam, yang berada dalam rentang prediksi tersebut dan menunjukkan konsistensi model.

Pengukuran terhadap efektivitas metode Taguchi, terbukti efektif dalam mengidentifikasi faktor dan level operasional yang paling optimal, yang mampu

menurunkan konsumsi bahan bakar sekaligus menstabilkan variasinya. Hal ini dibuktikan dengan perbaikan nilai *S/N Ratio* dari -37,42 dB menjadi -37,10 dB, serta penurunan konsumsi bahan bakar sebelumnya 74,32 liter/jam menjadi 71,54 liter/jam, masih berada toleransi pada rentang sebesar 76 liter/jam.

Secara verifikasi eksperimen konfirmasi kondisi optimal dari penghitungan analasi regresi linier berganda, dapat disimpulkan bahwa setting kondisi optimal yang diperoleh dari eksperimen konfirmasi telah berhasil memenuhi target yang ditetapkan untuk *fuel consumption*, *productivity*, dan *fuel ratio* pada *dump truck* HD785. Nilai *fuel consumption* rata-rata yang tercatat adalah 72,69 l/h, *productivity* 232,96 bcm/h.km, dan *fuel ratio* 0,32. Keseluruhannya berada dalam batasan yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu *fuel consumption* maksimal  $\leq 76$  l/h, *productivity* minimal  $\geq 231$  bcm/h.km, dan *fuel ratio* maksimal  $\leq 0,33$ . Meskipun terdapat beberapa unit dengan nilai yang tidak memenuhi target, namun secara keseluruhan pengaturan kondisi optimal telah mencapai hasil yang diharapkan, terutama pada *fuel ratio* yang memenuhi kriteria efisiensi bahan bakar.

Pengaruh antara variabel *fuel consumption* dan *productivity* terhadap *fuel ratio* dapat dijelaskan dengan baik, dimana variabel *fuel consumption* dan *productivity* berpengaruh signifikan terhadap *fuel ratio* dengan tingkat kepercayaan 95%. Pengujian asumsi klasik yang meliputi uji *multikolinieritas*, *autokorelasi*, *heteroskedastisitas*, dan *normalitas* menunjukkan bahwa model regresi linier yang digunakan memenuhi asumsi-asumsi yang diperlukan untuk analisis data. Uji kelayakan model regresi linier juga menunjukkan bahwa model ini layak digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Secara keseluruhan, hasil eksperimen konfirmasi dan analisis regresi linier menunjukkan bahwa pengaturan kondisi optimal dapat diterapkan secara efektif untuk meningkatkan efisiensi operasional *dump truck* HD785 dalam hal *fuel consumption* dan *productivity*, serta memberikan dasar yang kuat bagi pengambilan keputusan dalam merancang operasional yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Penentuan kombinasi level faktor yang optimal untuk meningkatkan produktivitas, menggunakan metode penghitungan *main effect analysis*. Diperoleh level faktor yang optimal untuk aspek produktivitas disetiap level faktor yaitu:

*Economy mode on* pada level 2 sebesar 241,58 bcm/jam, *inclination* pada level 1 sebesar 234,39 bcm/jam, *payload* pada level 2 sebesar 241,01 bcm/jam, dan *travel speed* pada level 2 sebesar 236,77 bcm/jam. Sehingga faktor yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap aspek produktivitas terletak pada level A2 (6 – 10 h), B1 ( $\leq 3\%$ ), C2 (91- 95 ton), dan D2 (18 – 21 km/jam).

Nilai investasi yang dialamnya termasuk biaya yang timbul dalam implemementasi kondisi optimal eksperimen, meliputi biaya yang dihemat dari penurunan konsumsi bahan bakar, *loss* produktivitas, dan biaya *regrade* jalan untuk mencapai syarat *inclination* jalan pada *grade* maksimal 3%. Biaya yang dihemat dari penurunan konsumsi bahan bakar per jam sebesar Rp38.250,00 per jam per unit, total dalam 20 jam operasi sebesar Rp1.122.000,00. Nilai *loss* produktivitas per jam sebesar Rp17.850,00 per jam per unit, total dalam 20 jam operasi sebesar Rp1.122.000,00.

Sedangkan biaya *regrade* jalan untuk mewujudkan *inclination* jalan maksimal 3% sebesar Rp100.000,00 total untuk volume 111650 m<sup>3</sup> sebesar Rp11.165.000.000,00. Nilai keekonomian jika eksperimen pada kondisi optimal ini diimplementasikan mengalami kerugian sebesar Rp17.850,00 per jam per unit, total dalam 20 jam operasi sebesar Rp1.122.000,00. Biaya *regrade* jalan sebesar Rp11.165.000.000,00 dapat dihilangkan atau seharusnya tidak timbul, jika dalam perencanaan jalan tambang sejak awal sudah didesain dan diwujudkan dengan maksimal *inclination* atau *grade* jalan tidak melebihi dari 3%. Untuk itu desain dan perwujudan desain jalan tambang yang sudah masuk didalam perencanaan desain jalan tambang akan menghilangkan biaya-biaya tambahan yang kemungkinan muncul dikemudian hari akibat rekayasa ulang pembentukan desain jalan tambang.

## 5.2 Saran

Saran-saran untuk penelitian yang akan dilanjutkan dimasa mendatang, adalah sebagai berikut:

1. Untuk implementasi operasional yang bertujuan pada efisiensi bahan bakar, maka konfigurasi yang optimal menggunakan level faktor dengan *economy mode on*  $\geq 11$  jam, *inclination*  $\leq 5\%$ , *payload* 91- 95 ton, dan *travel speed*  $\leq 17$  km/jam. Sedangkan jika operasional memprioritaskan pada pencapaian produktivitas dengan mengabaikan jumlah konsumsi bahan bakar, maka konfigurasi kombinasi level faktor adalah *economy mode on* A2 (6 – 10 h), *inclination* B2 ( $\leq 3\%$ ), *payload* C1 (91- 95 ton), dan D2 *travel speed* (18 - 21 km/jam).
2. Manajemen perlu menentukan pengambilan keputusan dalam memilih prioritas dan fokus target. Apakah prioritas fokus memilih penurunan konsumsi bahan bakar atau fokus prioritas pada pencapaian produktivitas. Karena dua hal tersebut memiliki perbedaan karakteristik tujuan dan memiliki sifat berbanding terbalik.
3. Sejak awal proses penambangan dilakukan perencanaan jalan tambang yang komprehensif dengan mengakomodir kondisi jalan dengan *inclination* kurang dari 3%. Agar tidak menimbulkan biaya tambahan dikemudian hari untuk merekayasa bentuk jalan tambang.
4. Lakukan analisis terhadap faktor-faktor eksternal lainnya yang belum diteliti dalam eksperimen (seperti kondisi cuaca, jenis operator, kondisi ban, atau waktu operasi) yang mungkin turut mempengaruhi konsumsi bahan bakar, untuk penyempurnaan strategi efisiensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alamdari, S., Basiri, M, A., Mousavi, A., Soofastaei, A. (2022). Application of Machine Learning Techniques to Predict Haul Truck Fuel Consumption in Open-Pit Mines. *Journal of Mining anda Environment*. DOI:10.22044/jme.2022.11577.2145
- Amborowati, C., Hidayat, A., Sawitri, D. R. (2025). Optimalisasi Ekstraksi Zat Warna Alami Dari Kulit Alpukat (*Percea Americana Mill*) Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. E-ISSN: 2685-323X.
- Apriliana., Adiwarman, M., Ramadhon, I, A., Putra. (2023). Analisis Produktivitas Alat Angkut Pada Kegiatan Pengangkutan Batubara Dari Temporary Stockpile Menuju Dump Hopper Di PT Rifansi Dwi Putra Site Banko Barat PT Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*.
- Ariesta, M. (2010). *Perancangan Eksperimen Taguchi Dalam Menentukan Penyetelan yang Optimal Pada Proses Pengemasan Untuk Mengurangi Variasi Berat Isi Kemasan Gula Pasir dan Creamer*. Jakarta.
- Armand, R, M., (2024). *Optimalisasi Kualitas Tahu Dalam Upaya Pengurangan Jumlah Produk Cacat Menggunakan Metode Taguchi (Studi Kasus: UMKM Tahu Suroso Payakumbuh)*. Pekanbaru.
- Arizky, R., Silviana, N. A., Siregar, N. A. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Taguchi di PT. XYZ. *Jurnal Arti, Aplikasi Rancangan Teknik Industri*. P-ISSN 2338-5464, E-ISSN 2807-6443.
- Artha Konstruksi. (2025). Harga jasa cut and fill. Retrieved November 10, 20205. <https://www.artha-konstruksi.com/harga-jasa-kontraktor-cut-and-fill>.
- Attari, M. Y. N., Miandoab, T. F., Ejlali, B., Torkayesh, A. E. (2021). Fuel consumption in mining industry using partial least squares structural equation modeling approach. *International Journal of Energy Sector Management*. Emerald Publishing Limited 1750-6220. DOI 10.1108/IJESM-07-2020-0020.

- Azmi., *et al.* (2023). Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri*. Padang: FT Universitas Andalas.
- Bagloo, H., Rahmani, A., Gholamnejad, J. (2024). Sustainable Fuel Management in Mining: Fuel Optimization Strategies in Loading and Haulage. Retrieved March 2, 2025, from <https://gt.uut.ac.ir/>.
- Bodziony, P., Patyk, M. (2024). The Influence of the Mining Operation Environment on the Energy Consumption and Technical Availability of Truck Haulage Operations in Surface Mines. Retrieved March 3, 2025, from <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/11/2654>.
- Burau, A, V., Ramírez, D, A., Sanmiquel, L,. Bascompta, M. (2023). A Comparison of the Fuel Consumption and Truck Models in Different Production Scenarios. Retrieved April 11 2025, from <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/9/5769>.
- Chen, G, R., Liao, T, W., Hsieh, C, C., Barman, J., Huang, C, Y., Kuo, C, F, K. (2025). Using The Taguchi Method and Grey Relational Analysis To Optimize The Parameter Design of Flat-Plate Collectors With Nanofluids, and Phase Change Materials in an Integrated Solar Water Heating System. *Journal Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100910>.
- Chen, W, H., Wang, J, S., Chang, M, S., Mutuku, J, K., Hoang, A, T. (2021). Efficiency Improvement of a Vertical-Axis Wind Turbine Using A Deflector Optimized By Taguchi Approach with Modified Additive Method. *Journal Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114609>.
- Deni, M., Latifah, R. (2021). Prediksi Pengisian BBM HSD dengan Metode Multiple Linier Regression. *Just IT, Jurnal Sistem Informasi Teknologi Informasi dan Komputer*. P-ISSN: 2089 – 0256, e-ISSN: 2598 – 3016.
- Firdaus, R. S. (2023). *Optimasi Formulasi Karet Alam Sebagai Material Kaki Palsu Menggunakan Metode Taguchi Orthogonal Array L4*. DI Yogyakarta.

- Fitria, N. (2009). *Analisis Metode Desain Eksperimen Metode Taguchi Dalam Optimasi Karakteristik Mutu*. Malang.
- Garber, J. N., Hoel, A. L. (2009). *Traffic and Highway Engineering*. University of Virginia.
- Golbasi, O., Kina, E. (2021). Haul Truck Fuel Consumption Modeling Under Random Operating Conditions: A Case Study. *Journal Transportation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103135>.
- Hasan, H. And Octariando, R. (2022). The Effect of Road Grade on Dump Truck Fuel Consumption. *SAE Technical Paper*. Doi:10.4271/2022-01-5030.
- Hassan, T. H., Sobaih, A. E., E. Salem, A. E., (2021) dengan judul “*Factors Affecting the Rate of Fuel Consumption in Aircrafts*”. Retrieved November 10, 2024, from <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/8066>.
- Iba, Z., Wardhana, A. (2024). *Analisis Regresi dan Analisis Jalur Untuk Riset Bisnis Menggunakan SPSS 29.0 & Smart-PLS 4.0*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2009. Jakarta.
- Jaelani, M. A. K., Fatkhurrozak. F., Lukman, S. (2024). Uji konsumsi Bahan Bakar Mesin Pencacah Plastik. *Jurnal Mechanical Engineering*, e-ISSN: 2776 – 219X, p-ISSN: 2301 – 6957.
- Jamaković, J., Mašić, S. (2021). Fuel Consumption Of The Belaz Dump Trucks On An Example Of The Open Pit “Turija” Of The Brown Coal Mine Banovići. *Journal Mining and Metallurgy Institute Bor*, ISSN: 2334-8836.
- Jung, K., Lee, J. (2024). Determination of an Optimal Parameter Combination for Single PEMFC Using the Taguchi Method and Orthogonal Array. Retrieved November 20, 2024, from <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/7/1690>.
- Kementerian ESDM. (2018). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomo 26 Tahun 2018. Jakarta.
- Komatsu. (2018). Operation and Maintenance Manual Dump Truck HD785-7 Serial Number 30001 and up. Tokyo

- Kumambang, S. (2023). Menentukan Standar Setting Parameter Mesin Laminasi Dengan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Hasil Produksi Alu Metallized Board. Semarang.
- Kurniawan, B. W., Rachman, F., Kharisma, I. A. (2023). Penerapan Metode Taguchi Untuk Optimasi Setting Parameter *Sandblasting* Terhadap Kerekatan Cat. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*. E-ISSN: 2621-9794, p-ISSN: 2477-2097.
- Luan, B., Zhou, W., Ao, Z., Han, Z., Xiao, Y. (2025). Fuel-Efficient Road Classification Methodology for Sustainable Open Pit Mining. Retrieved May 31, 2025, from <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6309>.
- Miftah, N. A., Atmaja, D. S. E., Oktafiani, A. (2022). Optimasi Multi-Objektif Proses Pemesinan *Milling* dengan Metode Taguchi Kolaborasi *Grey Relational Analysis*. *Jurnal Ssistem Cerdas*. eISSN: 2622-8254.
- Mitrabara Adiperdana. (2025). Proses Penambangan. Retrieved April 11, 2025, from. <https://www.mitrabaraadiperdana.co.id/business/mining-process>.
- Mushawir., Hasan, H., Magdalena, H., (2022). Optimasi Konsumsi Fuel Dump Truck Terhadap Pengaruh Grade Jalan Pada Aktivitas Penambangan Pada PT Pamapersada Nusantara Kecamatan Sangatta Utara Kabupaten Kutai Timur. *Mine Journal MINERAL*.
- Musliyadi, M., Nurdiawan, O., Dwilestari, G. (2025). Analisis Fakor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Bahan Bakar Kendaraan Menggunakan Teknik Data Mining. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*.
- Naufal, M. (2022). *Optimasi Multi Faktor pada Material Karet Silikon Terhadap Gesekan dan Aus Menggunakan Metode Taguchi*. DI Yogyakarta.
- Nicolaus., Lubis, G .S., Ivanto, M. (2024). Studi Pengaruh dan Optimasi Sistem Transmisi pada Kendaraan Prototype Kelas Motor Listrik Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*. E-ISSN: 2798-0421, Vol. 5, No. 1.
- Nurkhamim., Adha, H. R., Cahyadi, T. A., Kresno., Inmarlinianto. (2023). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD QUESTER CWE 370 dalam

- Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel. *Indonesian Mining Professionals Journal*. Doi: <https://doi.org/10.36986/impj.v5i1.57>.
- Octaviani, B. P., Supriyadi., Hartono, A. (2020). Analysis of Fairness Limit on Fuel Oil Consumption of Two-Tail Test Based Excavator and Dump Truck A Case Study in PT FK. *JIT Journal of Innovation and Technology*, e-ISSN: 2721-8562, p-ISSN: 2721-8570.
- Permana, T., Darusman, F. (2023). Peranan Metode Desain Eksperimen Dalam Formulasi Sediaan Farmasi. *Jurnal Riset Farmasi*. E-ISSN 2798-6292, p-ISSN 2808-3121.
- Phanpheta, S., Bangphanb, S. (2021). Application of Taguchi Method In Optimization of Process Parameters For Paddy Husker in Peeling Machine Production Process. *Journal of Tianjin University Science and Technology*. DOI 10.17605/OSF.IO/RZ7K9. ISSN: 0493-2137. Vol:54 Issue:08:2021.
- Pradana, E. S., Sulistiyowati, W. (2022). Use of the Taguchi Method for Quality Improvement. *Jurnal Prozima*. E-ISSN: 2541-5115.
- PT Pamapersada Nusantara. (2018). *FECO Gen ONE*. Jakarta: PT. Pamapersada Nusantara.
- Ramadhani, A. D., Mustofa, A., Melati, S. (2022). Optimalisasi Fuel Ratio Alat Gali Muat Dan Alat Angkut PT Borneo Alam Semesta. *Jurnal Himasapta*.
- Rifa'i, I., (2021). *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Dump Truck Pada Penambangan Batu Andesit PT. Harmak Indonesia, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta*. DI Yogyakarta.
- Saputra, B. R. (2022). Perancangan Parameter dengan Metode Taguchi Untuk Mengoptimasi Proses *Blow Machine* Pada PT Sanpak Unggul. *Scientific Journal of Industrial Engineering*. P-ISSN 2716-2176, e-ISSN 2716-2168.
- Shelendia, V., Oktavia, M., Permana, I. S. (2021). Analisis Pengaruh Jarak Angkut, Grade Jalan Terhadap Biaya Alat Angkut pada Pengupasan Overburden di PT Surya Anugerah Sejahtera Kabupaten Bungo. *Jurnal Mine Magazine*, ISSN: 2721-7264.

- Solar Murah. (2025). Penawaran solar. Retrieved November 10, 2025. <https://www.solarmurah.com/2025/03>
- Suryaningsih. (2010). *Desain Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan Mesin yang Optimal dalam Proses Pengemasan Creamer untuk Menghasilkan Kekuatan Seal yang Terbaik*. Jakarta.
- Tribuana, E., Megasukma, Y., Ericson., Adhitya, B. (2024). Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Kemiringan Jalan Angkut Overburden. Studi Kasus PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal. *Jurnal Himasapta*.
- Umidjon, K., Orifjon, K., Shahlo, P. (2025). Analysis of Factors Influencing The Increased Consumption of Diesel Fuel By Belaz Dump Trucks In A Quarry. *Scientific and Technical Journal of NamIET*.
- Wahyudi, Y., Harito, C. (2023). Optimalisasi Teknik *Less Water Dyeing* Program pada Kain *Polyester* dengan Pendekatan Metode Taguchi Untuk Penghematan Air Dalam Industri Tekstil. *Jurnal Papatung*. ISSN: 2715-0186.
- Wanji, M., Firmansyah, M., Gulo, D. R. S. B., Azzahra, Z. N., Mujiatun, S. (2025). Penerapan Metode Deduktif dan Induktif dalam Manajemen. *Jurnal Manajemen dan Pendidikan Agama Islam*. E-ISSN: 3031-8394, p-ISSN: 3031-8416.
- Whatcom County Washington. (2025). Homeowner's Guide to Calculating Percent Slope. Retrieved November 10, 2025. <https://www.whatcomcounty.us/>
- Yuce, B. E., Nielsen, P. V., Wargocki, P. (2022). The use of Taguchi, ANOVA, and GRA methods to optimize CFD analyses of ventilation performance in buildings. *Journal Building and Enviroment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109587>
- Yunita., Harsiga, E. (2023). Analisis Fuel Ratio Pada Project Penambangan di Pit 1 PT Cahaya Riau Mandiri Jobsite PT Duta Alam Sumatera. *Mine Journal Mineral*.
- Zhu, D., Chen, Y., Huang, Z., Ke, X., Yang, K. (2023) dengan judul "*An Optimal Energy Consumption Scheduling Algorithm For Dump Trucks in Mines*". Beijing: China University of Mining and Technology.

## LAMPIRAN I

Tabel 5.1 Spesifikasi unit HD785

### OFF HIGHWAY TRUCKS HD785

#### SPECIFICATIONS



##### ENGINE

|                      |                                                                    |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Model                | Komatsu SAA12V140E-3                                               |
| Type                 | Water-cooled, 4-cycle                                              |
| Aspiration           | Turbo-charged, after-cooled                                        |
| Number of cylinders  | 12                                                                 |
| Bore x Stroke        | 140 mm x 165 mm                                                    |
| Piston displacement  | 30.48 L                                                            |
| Horsepower           |                                                                    |
| SAE J1995            | Gross 895 kW 1200 HP                                               |
| ISO 9249 / SAE J1349 | Net 879 kW 1178 HP                                                 |
| Rated rpm            | 1900 min <sup>-1</sup>                                             |
| Fan drive type       | Mechanical                                                         |
| Maximum torque       | 5080 N m 518 kgm                                                   |
| Fuel system          | Direct injection                                                   |
| Governor             | Electronic control                                                 |
| Lubrication system   |                                                                    |
| Method               | Gear pump, force-lubrication                                       |
| Filter               | Full-flow type                                                     |
| Air cleaner          | Dry type with double elements and precleaners, with dust indicator |

U.S. EPA Tire 2 emission certified.



##### TRANSMISSION

|                      |                                                                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Torque converter     | 3-elements, 1-stage, 2-phase                                                        |
| Transmission         | Full-automatic, planetary-gear type                                                 |
| Number of gear       | 7 forward and 2 reverse (RH, RL)                                                    |
| Lockup clutch        | Wet, multiple-disk clutch                                                           |
| Forward              | Torque converter drive in 1st gear, direct drive in 1st lockup and all higher gears |
| Reverse              | Torque converter drive, direct drive (Lockup)                                       |
| Shift control        | Electronic shift control with automatic clutch modulation in all gears              |
| Maximum travel speed | 65 km/h                                                                             |



##### AXLES

|                  |                |
|------------------|----------------|
| Rear axles       | Full-floating  |
| Final drive type | Planetary gear |
| Ratios:          |                |
| Differential     | 3.357          |
| Planetary        | 6.333          |



##### SUSPENSION SYSTEM

|                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Independent, hydropneumatic suspension cylinder with fixed throttle to dampen vibration. |             |
| Effective cylinder stroke:                                                               |             |
| Front suspension                                                                         | 320 mm max. |
| Rear suspension                                                                          | 127 mm max. |
| Rear axle oscillation                                                                    | 6.5° max.   |



##### STEERING SYSTEM

|                        |                                                                 |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Type                   | Fully hydraulic power steering with two double-acting cylinders |
| Secondary steering     | Meets ISO 5010, SAE J1511                                       |
| Minimum turning radius | 10.1 m                                                          |
| Maximum steering angle | 41°                                                             |



##### CAB

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| Standard | FOPS (ISO 3449 level 2) |
|          | ROPS (ISO 3471)         |



##### MAIN FRAME

|      |                                                |
|------|------------------------------------------------|
| Type | Box-sectioned structure, integral front bumper |
|------|------------------------------------------------|



##### BRAKES

|                                |                                                                                               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brakes meet ISO 3450 standard. |                                                                                               |
| Service brakes:                |                                                                                               |
| Front                          | Fully hydraulic control, oil-cooled multiple-disc type                                        |
| Rear                           | Fully hydraulic control, oil-cooled multiple-disc type                                        |
| Parking brake                  | Spring applied, multiple-disc type (Actuates on all wheels)                                   |
| Retarder                       | Oil-cooled, multiple-disc front and rear brakes act as retarder.                              |
| Secondary brake                | Pedal operation                                                                               |
|                                | When hydraulic pressure drops below the rated level, parking brake is automatically actuated. |
| Brake surface                  |                                                                                               |
| Front                          | 37467 cm <sup>2</sup>                                                                         |
| Rear                           | 72414 cm <sup>2</sup>                                                                         |



##### BODY (GENERAL PURPOSE BODY)

|                         |                                                  |
|-------------------------|--------------------------------------------------|
| Capacity:               |                                                  |
| Struck                  | 40 m <sup>3</sup>                                |
| Heaped (2:1, SAE)       | 60 m <sup>3</sup>                                |
| Rated payload           | 91.7 metric tons                                 |
| Material                | 400 Brinell hardness high tensile strength steel |
| Structure               | V-shape body with V-bottom                       |
| Material thickness:     |                                                  |
| Bottom                  | 19 mm                                            |
| Front                   | 12 mm                                            |
| Sides                   | 9 mm                                             |
| Target area             |                                                  |
| (Inside length x width) | 7070 mm x 5150 mm                                |
| Dumping angle           | 48°                                              |
| Height fully raised     | 10080 mm                                         |
| Bond prevention         | Heating by exhaust gas                           |



##### HYDRAULIC SYSTEM

|                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|
| Hoist cylinder  | Twin, 2-stage telescopic type   |
| Relief pressure | 20.6 MPa 210 kg/cm <sup>2</sup> |
| Hoist time      |                                 |
| Raise           | 13 s                            |
| Lower           | 14 s                            |



##### WEIGHT (APPROXIMATE)

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| Rated Empty Vehicle Weight (EVW)                            | 72000 kg  |
| Excludes optional equipments and operator.                  |           |
| Rated Gross Vehicle Weight (GVW)                            | 163780 kg |
| Includes optional equipments, operator (80 kg) and payload. |           |
| Distribution:                                               |           |
| Empty:                                                      |           |
| Front axle                                                  | 47%       |
| Rear axle                                                   | 53%       |
| Loaded:                                                     |           |
| Front axle                                                  | 31.4%     |
| Rear axle                                                   | 68.6%     |



##### TIRES

|               |           |
|---------------|-----------|
| Standard tire | 27.00 R49 |
|---------------|-----------|



##### SERVICE REFILL CAPACITIES

|                                                     |        |
|-----------------------------------------------------|--------|
| Fuel tank                                           | 1308 L |
| Engine oil                                          | 129 L  |
| Torque converter, transmission and retarder cooling | 205 L  |
| Differential                                        | 137 L  |
| Final drives (Total)                                | 128 L  |
| Hydraulic system                                    | 175 L  |
| Brake control                                       | 36 L   |
| Suspensions (Total)                                 | 93 L   |



157

## LAMPIRAN II

Tabel 5.2 Data pengolahan regresi linier berganda

| NO               | Code Number | Economy Mode On | Hour Meter  | Fuel Cons (l/h) | Prodt'y (bcm/h.km) | Fuel Ratio  |
|------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------------|-------------|
| 1                | DT566XX     | 4.95            | 5.00        | 77.42           | 265.36             | 0.29        |
| 2                | DT566XX     | 4.14            | 4.31        | 73.92           | 265.86             | 0.28        |
| 3                | DT406XX     | 4.63            | 4.98        | 76.58           | 261.13             | 0.29        |
| 4                | DT372XX     | 5.15            | 5.35        | 77.28           | 250.00             | 0.31        |
| 5                | DT436XX     | 3.38            | 3.58        | 78.54           | 236.63             | 0.33        |
| 6                | DT479XX     | 3.56            | 3.60        | 78.54           | 231.44             | 0.34        |
| 7                | DT349XX     | 2.26            | 2.40        | 79.78           | 237.56             | 0.34        |
| 8                | DT320XX     | 3.66            | 2.79        | 78.72           | 204.03             | 0.39        |
| 9                | DT320XX     | 5.00            | 5.30        | 76.02           | 211.42             | 0.36        |
| 10               | DT481XX     | 9.43            | 9.61        | 73.20           | 252.15             | 0.29        |
| 11               | DT496XX     | 9.17            | 9.30        | 71.60           | 216.31             | 0.33        |
| 12               | DT528XX     | 9.44            | 9.59        | 72.62           | 252.10             | 0.29        |
| 13               | DT529XX     | 9.17            | 9.33        | 74.72           | 229.37             | 0.33        |
| 14               | DT391XX     | 9.06            | 9.23        | 76.88           | 274.51             | 0.28        |
| 15               | DT503XX     | 9.35            | 9.50        | 76.08           | 226.90             | 0.34        |
| 16               | DT394XX     | 9.78            | 9.85        | 76.36           | 233.09             | 0.33        |
| 17               | DT394XX     | 9.78            | 10.05       | 75.90           | 242.68             | 0.31        |
| 18               | DT459XX     | 8.63            | 9.05        | 76.08           | 232.07             | 0.33        |
| 19               | DT403XX     | 11.22           | 11.34       | 71.08           | 237.88             | 0.30        |
| 20               | DT487XX     | 11.34           | 11.45       | 71.36           | 232.42             | 0.31        |
| 21               | DT418XX     | 11.32           | 11.56       | 72.10           | 265.45             | 0.27        |
| 22               | DT409XX     | 11.13           | 11.42       | 72.00           | 226.49             | 0.32        |
| 23               | DT459XX     | 11.11           | 11.20       | 71.68           | 223.71             | 0.32        |
| 24               | DT458XX     | 11.36           | 11.50       | 71.58           | 226.72             | 0.32        |
| 25               | DT458XX     | 11.13           | 11.50       | 69.00           | 243.82             | 0.28        |
| 26               | DT435XX     | 11.11           | 11.40       | 67.68           | 242.54             | 0.28        |
| 27               | DT487XX     | 11.21           | 11.60       | 71.82           | 250.03             | 0.29        |
| <b>Rata-rata</b> |             | <b>8.20</b>     | <b>8.36</b> | <b>74.39</b>    | <b>239.69</b>      | <b>0.31</b> |

### LAMPIRAN III

Tabel 5.3 Data penelitian level faktor

| Eks | Eco ON | Inclination | Payload | Speed   |
|-----|--------|-------------|---------|---------|
| 1   | ≤ 5    | ≤ 3         | ≤ 90    | ≤ 17    |
| 2   | ≤ 5    | ≤ 3         | ≤ 90    | ≤ 17    |
| 3   | ≤ 5    | ≤ 3         | ≤ 90    | ≤ 17    |
| 4   | ≤ 5    | 4 - 5       | 91 – 95 | 18 - 21 |
| 5   | ≤ 5    | 4 - 5       | 91 – 95 | 18 - 21 |
| 6   | ≤ 5    | 4 - 5       | 91 – 95 | 18 - 21 |
| 7   | ≤ 5    | ≥ 6         | ≥ 96    | > 22    |
| 8   | ≤ 5    | ≥ 6         | ≥ 96    | > 22    |
| 9   | ≤ 5    | ≥ 6         | ≥ 96    | > 22    |
| 10  | 6 - 10 | ≤ 3         | 91 – 95 | > 22    |
| 11  | 6 - 10 | ≤ 3         | 91 – 95 | > 22    |
| 12  | 6 - 10 | ≤ 3         | 91 – 95 | > 22    |
| 13  | 6 - 10 | 4 - 5       | ≥ 96    | < 17    |
| 14  | 6 - 10 | 4 - 5       | ≥ 96    | < 17    |
| 15  | 6 - 10 | 4 - 5       | ≥ 96    | < 17    |
| 16  | 6 - 10 | ≥ 6         | ≤ 90    | 18 - 21 |
| 17  | 6 - 10 | ≥ 6         | ≤ 90    | 18 - 21 |
| 18  | 6 - 10 | ≥ 6         | ≤ 90    | 18 - 21 |
| 19  | ≥ 11   | ≤ 3         | ≥ 96    | 18 - 21 |
| 20  | ≥ 11   | ≤ 3         | ≥ 96    | 18 - 21 |
| 21  | ≥ 11   | ≤ 3         | ≥ 96    | 18 - 21 |
| 22  | ≥ 11   | 4 - 5       | ≤ 90    | ≥ 22    |
| 23  | ≥ 11   | 4 - 5       | ≤ 90    | ≥ 22    |
| 24  | ≥ 11   | 4 - 5       | ≤ 90    | ≥ 22    |
| 25  | ≥ 11   | ≥ 6         | 91 – 95 | ≤ 17    |
| 26  | ≥ 11   | ≥ 6         | 91 – 95 | ≤ 17    |
| 27  | ≥ 11   | ≥ 6         | 91 – 95 | ≤ 17    |

#### LAMPIRAN IV

Tabel 5.4 Data eksperimen awal

| Eks | Eco ON | Inclination [%] | Payload [Tonnes] | Travel Speed Max [km/h] | Fuel Rate [l/h] | AVG Speed | Hour Meter (h) | Prod't'y per KM |
|-----|--------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| 1   | 4.95   | 1.9%            | 90.30            | 57.0                    | 77.42           | 17.98     | 5.00           | 265.36          |
| 2   | 4.14   | 2.0%            | 89.65            | 65.8                    | 73.92           | 17.98     | 4.31           | 265.86          |
| 3   | 4.63   | 2.3%            | 90.38            | 72.9                    | 76.58           | 17.66     | 4.98           | 261.13          |
| 4   | 5.15   | 4.3%            | 95.30            | 56.80                   | 77.28           | 20.59     | 5.35           | 250.00          |
| 5   | 3.38   | 4.3%            | 92.63            | 75.60                   | 78.54           | 19.75     | 3.58           | 236.63          |
| 6   | 3.56   | 4.7%            | 93.79            | 69.60                   | 78.54           | 19.12     | 3.60           | 231.44          |
| 7   | 2.26   | 6.3%            | 105.43           | 66.2                    | 79.78           | 25.09     | 2.40           | 237.56          |
| 8   | 3.66   | 7.4%            | 101.29           | 70.2                    | 78.72           | 26.76     | 2.79           | 204.03          |
| 9   | 5.00   | 8.7%            | 107.50           | 73.2                    | 76.02           | 26.76     | 5.30           | 211.42          |
| 10  | 9.43   | 2.1%            | 95.40            | 66.7                    | 73.20           | 23.33     | 9.61           | 252.15          |
| 11  | 9.17   | 3.0%            | 92.43            | 51.4                    | 71.60           | 28.40     | 9.30           | 216.31          |
| 12  | 9.44   | 2.9%            | 95.14            | 70.4                    | 72.62           | 23.76     | 9.59           | 252.10          |
| 13  | 9.17   | 4.3%            | 104.03           | 67.2                    | 74.72           | 17.56     | 9.33           | 229.37          |
| 14  | 9.06   | 4.9%            | 100.77           | 54.9                    | 76.88           | 17.65     | 9.23           | 274.51          |
| 15  | 9.35   | 4.1%            | 104.42           | 52.2                    | 76.08           | 17.47     | 9.50           | 226.90          |
| 16  | 9.78   | 7.3%            | 90.63            | 55.6                    | 76.36           | 20.89     | 9.85           | 233.09          |
| 17  | 9.78   | 7.3%            | 90.63            | 55.6                    | 75.90           | 20.89     | 10.05          | 242.68          |
| 18  | 8.63   | 7.0%            | 88.73            | 61.5                    | 76.08           | 21.2      | 9.05           | 232.07          |
| 19  | 11.22  | 2.9%            | 105.30           | 63.2                    | 71.08           | 20.63     | 11.34          | 237.88          |
| 20  | 11.34  | 3.0%            | 102.45           | 47.6                    | 71.36           | 18.54     | 11.45          | 232.42          |
| 21  | 11.32  | 2.9%            | 109.41           | 65.8                    | 72.10           | 21.16     | 11.56          | 265.45          |
| 22  | 11.13  | 4.7%            | 89.11            | 57.1                    | 72.00           | 24.01     | 11.42          | 226.49          |
| 23  | 11.11  | 4.0%            | 87.14            | 59.8                    | 71.68           | 27.53     | 11.20          | 223.71          |
| 24  | 11.36  | 4.9%            | 88.13            | 53.2                    | 71.58           | 26.65     | 11.50          | 226.72          |
| 25  | 11.13  | 7.1%            | 94.42            | 56.8                    | 69.00           | 17.65     | 11.50          | 243.82          |
| 26  | 11.11  | 8.6%            | 93.84            | 58.2                    | 67.68           | 16.48     | 11.40          | 242.54          |
| 27  | 11.21  | 7.4%            | 92.48            | 64.5                    | 71.82           | 17.64     | 11.60          | 250.03          |