OPTIMASI PARAMETER PADA PROSES PENCETAKAN 3D *PRINTING* FDM (*FUSED DEPOSITION MODELING*) TERHADAP KUALITAS PRODUK BERBAHAN FILAMEN PLA (*POLYLACTIC ACID*) *DENGAN* PENDEKATAN TAGUCHI *MULTI RESPONSE SIGNAL TO NOISE*

TUGAS AKHIR

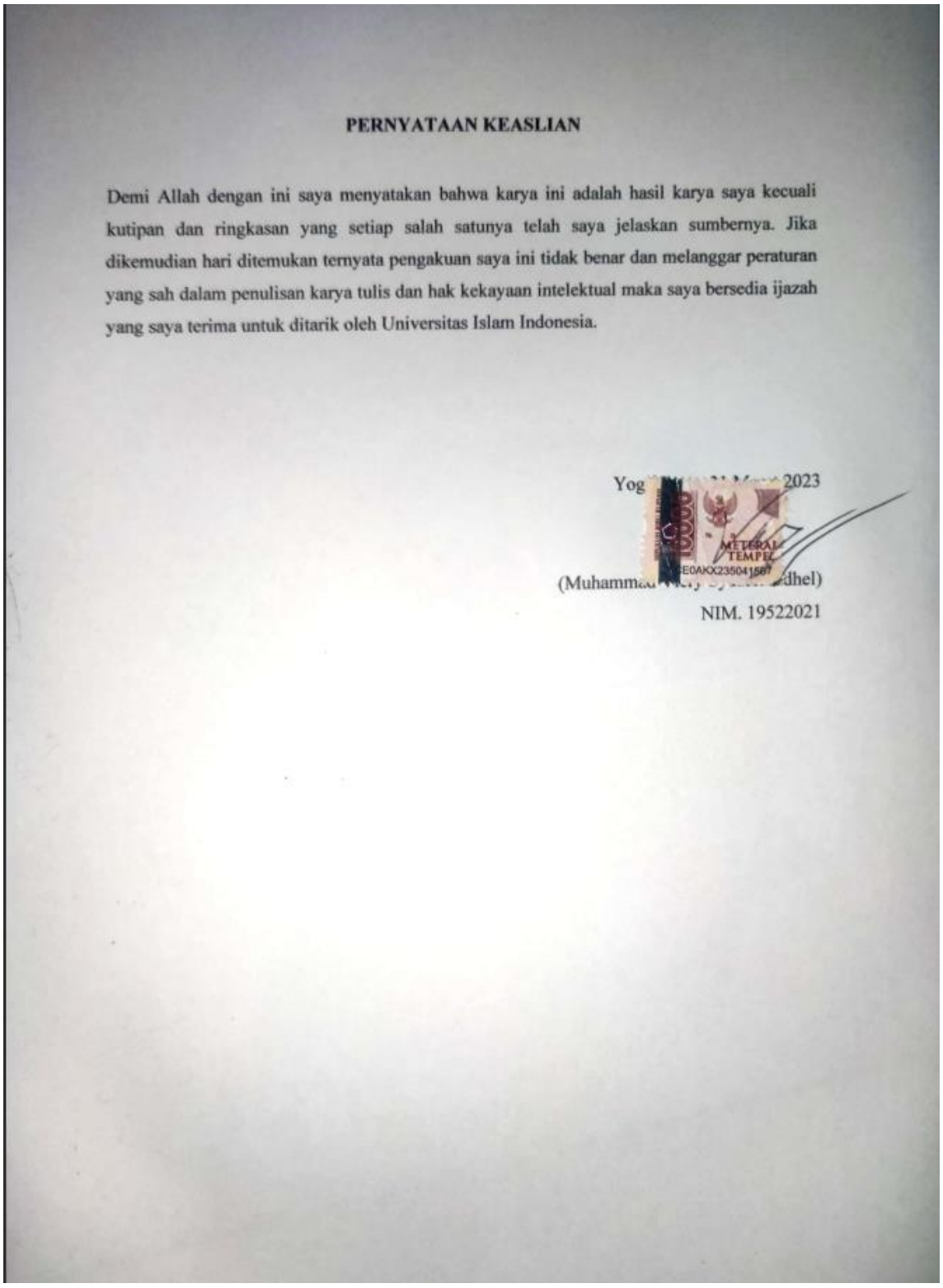
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Industri – Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Muhammad Viery Syahanifadhel

No. Mahasiswa : 19522021

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023

PERNYATAAN KEASLIAN



PERNYATAAN KEASLIAN

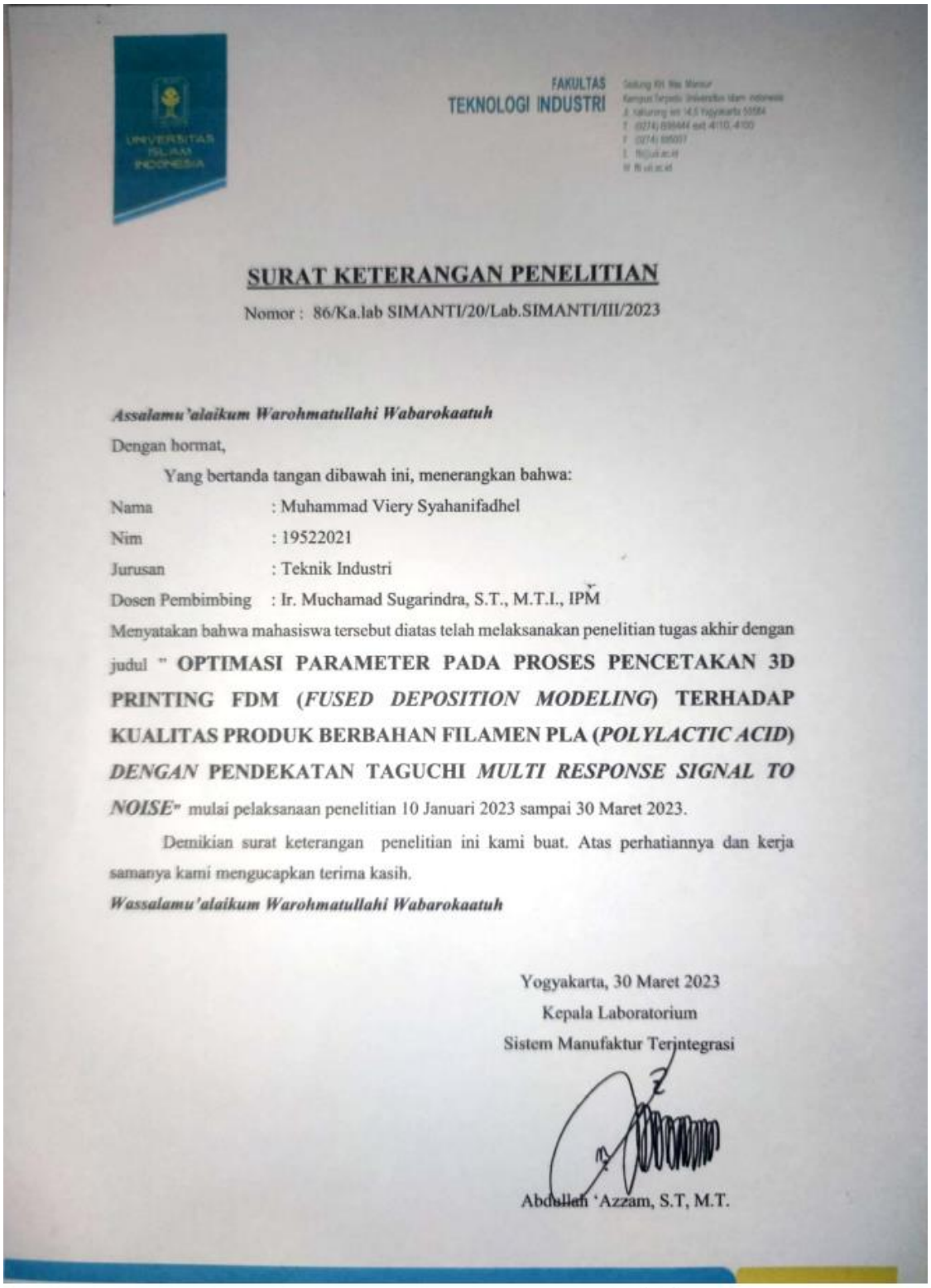
Demi Allah dengan ini saya menyatakan bahwa karya ini adalah hasil karya saya kecuali kutipan dan ringkasan yang setiap salah satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ditemukan ternyata pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam penulisan karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang saya terima untuk ditarik oleh Universitas Islam Indonesia.

Yog[illegible] 2023

(Muhamma[illegible]dhel)

NIM. 19522021

SURAT BUKTI PENELITIAN



FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 86/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/III/2023

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Muhammad Viery Syahanifadhel

Nim : 19522021

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul " **OPTIMASI PARAMETER PADA PROSES PENCETAKAN 3D PRINTING FDM (*FUSED DEPOSITION MODELING*) TERHADAP KUALITAS PRODUK BERBAHAN FILAMEN PLA (*POLYLACTIC ACID*) *DENGAN* PENDEKATAN TAGUCHI *MULTI RESPONSE SIGNAL TO NOISE*"** mulai pelaksanaan penelitian 10 Januari 2023 sampai 30 Maret 2023.

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 30 Maret 2023

Kepala Laboratorium

Sistem Manufaktur Terintegrasi

Abdullah 'Azzam, S.T, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

OPTIMASI PARAMETER PADA PROSES PENCETAKAN 3D *PRINTING* FDM (*FUSED DEPOSITION MODELING*) TERHADAP KUALITAS PRODUK BERBAHAN FILAMEN PLA (*POLYLACTIC ACID*) *DENGAN* PENDEKATAN TAGUCHI *MULTI RESPONSE SIGNAL TO NOISE*

TUGAS AKHIR

Disusuh Oleh :

Nama : Muhammad Viery Syahanifadhel

No. Mahasiswa : 19522021

Yogyakarta, 31 Maret 2023

Dosen Pembimbing

31 Maret 2023

(Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

OPTIMASI PARAMETER PADA PROSES PENCETAKAN 3D PRINTING FDM (*FUSED DEPOSITION MODELING*) TERHADAP KUALITAS PRODUK BERBAHAN FILAMEN PLA (*POLYLACTIC ACID*) *DENGAN* PENDEKATAN TAGUCHI *MULTI RESPONSE SIGNAL TO NOISE*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Viery Syahanifadhel

No. Mahasiswa : 19 522 021

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 26 Mei 2023

Tim Penguji

Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM	4 juni 2023
Ketua	
Ir. Ali Parkhan, M.T.	
Anggota I	
Ir. Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., IPM	
Anggota II	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Edrian Andi Nugroho, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
NIP. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil alaamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan berkah dan rahmatnya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa juga saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang yang menjadi selalu penyemangat serta pendukung saya dimanapun dan kapanpun yaitu kedua orang tua saya dan adik saya yang saya sayangi. Terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan secara fisik atau materil untuk mencapai tujuan dan cita-cita. Semoga Allah SWT senantianya melipat gandakan kebaikan, Kesehatan, serta kerbekahan. Serta tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membimbing saya dalam penyususnan Tugas Akhir ini. Terima kasih juga saya ucapkan untuk Bapak Heri Susilo, Bapak Bambang, dan Bapak Jimmy yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Semoga Allah SWT membalas seluruh kebaikan Bapak dengan berkali-kali lipat.

MOTTO

"Sesungguhnya segala sesuatu itu tergantung dari niatnya"
(HR. Bukharii dan Muslim)

"Barang siapa bertakwa kepada Allah SWT maka Dia menjadikan jalan keluar baginya dan memberikan rezeki dari jalan yang tidak ia sangja
(QS. Ath-Thalaq ayat 2-3)

"Jalan tercepat untuk menggapai mimpi menjadi kenyataan adalah dengan cara bangun dan lakukan kegiatan bermanfaat"
(Muhammad Ali)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas berkah, rahmat, serta nikmat-Nya sehingga penelitian dan penyusunan Tugas Akhir yang dilakukan di Laboratorium Sistem Manufaktur Terintegrasi, dengan judul **Optimasi Parameter Pada Proses Pencetakan 3D *Printing* FDM (*Fused Deposition Modeling*) Terhadap Kualitas Produk Berbahan Filamen PLA (*Polylactic Acid*) dengan Pendekatan Taguchi *Multi Response Signal to Noise*** sebagai salah satu persyaratan untuk mendapat gelar sarjana, dapat diselesaikan. Shalawat serta salam tak lupa penulis junjungkan kepada Nabi Agung Muhammad SAW yang telah membimbing dari zaman jahiliyah hingga jaman penuh kebaikan. Semoga kita mendapatkan syafaatnya kelak di akhir zaman. Tugas Akhir ini penulis susun untuk memenuhi persayaratan studi di Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas dukungan serta kebaikan kepada semua pihak yang telah berjasa memberikan bantuan, motivasi, dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tanpa dorongan dari pihak tersebut, penulisan Tugas Akhir tidak akan berjalan dengan lancar. Maka dari itu, penulis hendak mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Sudiro Winarso, S.E. dan Ratna Dewi Kuswidayati, S.H. yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan moral ataupun materil kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM selaku dosen pembimbing laporan Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan serta arahan dan ilmu yang telah beliau berikan sehingga Tugas Akhir dapat diselesaikan oleh penulis.
6. Bapak Ir. Ali Parkhan, M.T. selaku dosen yang membimbing serta memberikan arahan terhadap perhitungan pada Tugas Akhir penulis.
7. Kepada Bapak Heri Susilo, Bapak Bambang, dan Bapak Jimy serta seluruh pihak yang telah membantu penulis dari proses awal hingga pengujian pada penelitian.
8. Kepala Laboratorium, Laboran, Teman-teman Asisten Angkatan 2019 dan 2020 Laboratorium Sistem Manufaktur Terintegrasi (SIMAN) yang telah memberikan semangat serta dukungannya.
9. Kepada seluruh teman dan sahabat saya, yang telah memberikan semangat dan dukungannya agar laporan Tugas Akhir dapat terselesaikan

Sekali lagi penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terkait dalam penulisan serta penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Semoga segala doa,

motivasi, dan dukungan yang diberikan oleh semua pihak dapat menjadi amal ladang pahala yang senantiasa akan digantikan oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Yogyakarta, 10 Januari 2023

Muhammad Viery Syahanifadhel

ABSTRAK

Pada zaman saat ini teknologi banyak berkembang dengan pesat yang mana dapat mempermudah masyarakat dalam melakukan kegiatan ataupun studinya. Teknologi yang sedang mengalami perkembangan dan terus dikembangkankan adalah teknologi 3D *Printing* yang mana dapat membuat suatu produk dengan sangat mudah, cepat dan sangat detail. Salah satu Teknik 3D *Printing* yang sering digunakan adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM), yang mana Teknik tersebut menggunakan filamen sebagi bahannya dengan konsep per lapisan dalam pencetakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kombinasi parameter optimal untuk menghasilkan cetakan produk FDM dengan tegangan Tarik tertinggi serta kekasaran permukaan yang paling halus. Penelitian menggunakan metode Taguchi yang merupakan metodologi untuk memperbaiki kualitas produk dengan menekan biaya hingga paling rendah dan minimal. Metode yang digunakan memiliki prinsip kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan menggunakan filamen *Polylactic Acid* (PLA). Desain eksperimen pada penelitian ini adalah menggunakan Desain Eksperimen Taguchi menggunakan matriks *orthogonal* L_8, ANOVA, analisis S/N dan MRSN untuk mengetahui parameter yang paling optimal dari variabel respon yang ditetapkan. Parameter proses yang diteliti pada penelitian ini adalah ketebalan lapisan, suhu pencetakan, jumlah *wall*, bentuk *infill*, kepadatan *infill*, kecepatan pencetakan, dan ukuran diameter *nozzle*. Hasil penelitian menunjukkan nilai parameter proses paling optimal adalah pada percobaan ke-64 dengan parameter ketebalan lapisan sebesar 0,4 mm, suhu pencetakan 220^{o}C, jumlah *walls* sebanyak 2 wall, bentuk *infill* Hexagonal, kepadatan *infill* 80%, *Printing Speed* 80 mm/s, dan diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm. Kombinasi ini menghasilkan tegangan Tarik 38.0495 Mpa naik 22.057 Mpa dari kombinasi awal dan kekasaran permukaan sebesar 2.444 µm turun 17.784 µm dari kombinasi awal. Kombinasi ini juga dapat menghemat biaya menjadi Rp. 1.653

Kata Kunci : Optimisasi, Taguchi, FDM, Tegangan Tarik, Kekasaran Permukaan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iv**
TUGAS AKHIR ..... **iv**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang **1**
1.2 Rumusan Masalah **6**
1.3 Batasan Permasalahan **6**
1.4 Tujuan Penelitian **6**
1.5 Manfaat Penelitian **6**
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **8**
2.1 Kajian Literatur **8**
2.2 Landasan Teori **24**
2.2.1 Teknologi 3D *Printing* **24**
2.2.2 CAD (Computer Aided Design) **25**
2.2.3 Additive Manufacturing **26**
2.2.3.1 Mekanisme Proses 3D *Printing* **29**
2.2.4 Spesimen **30**
2.2.5 Metode Taguchi **30**
2.2.6 Langkah-Langkah Metode Taguchi **32**
2.2.7 Tahap Eksperimen Metode Taguchi **32**
2.2.7.1 Tahap Perencanaan **32**
2.2.7.2 Tahap Pelaksanaan **33**

2.2.7.3 Tahap Analisis 34
2.2.8 *Orthogonal Array* (OA) 37
2.2.9 *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) 38
BAB III METODE PENELITIAN 42
3.1 Objek dan Lokasi Penelitian 42
3.2 Pengumpulan Data 42
3.2.1 Data Primer 42
3.2.2 Data Sekunder 43
3.3 Alur Penelitian 43
3.4 Persiapan Penelitian 46
3.5 Rancangan percobaan 49
3.5.1 Parameter Respon 49
3.5.2 Parameter Proses 49
3.6 Pemilihan Matriks Orthogonal 50
3.7 Proses Percobaan 51
3.7.1 Persiapan Penelitian 51
3.7.2 Desain Spesimen 52
3.7.3 *Slicing* Data CAD 52
3.7.4 Pencetakan Spesimen 52
3.7.5 Melakukan Uji Tarik 53
3.7.6 Melakukan Uji Kekasaran Permukaan 54
3.8 Pengambilan Data Hasil Percobaan 54
3.9 Metode Analisis Pengolahan Data 54
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 55
4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan 55
4.2 Melakukan Pengujian Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA 56
4.2.1 Uji Normalitas 56
4.2.2 Uji Homogenitas 57
4.2.3 Uji Anova 58
4.3 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon 64
4.3.1 Pengujian Rasio S/N Kekuatan Tarik 64
4.3.2 Pengujian Rasio S/N Kekasaran Permukaan 65
4.4 Penentuan Efek Tiap Faktor 66

4.4.1 Penentuan Efek Tiap Faktor Pada Pengujian Tarik 66
4.4.2 Penentuan Efek Tiap Faktor Pada Pengujian Kekasaran Permukaan..... 67
4.5 Prediksi Nilai Variabel Respon Menggunakan Regresi Linear Berganda 67
4.5.1 Pengujian Tarik..... 68
4.5.2 Pengujian Kekasaran Permukaan..... 71
4.6 Penentuan Level Faktor Optimal Menggunakan MRSN..... 75
BAB V PEMBAHASAN 80
5.1 Desain Eksperimen..... 80
5.2 Analisis Uji Normalitas dan Uji Homogenitas..... 82
5.3 Analisis Perhitungan Analisis Variansi (ANOVA)..... 83
5.3.1 Analisis ANOVA Pengujian kekuatan Tarik..... 84
5.3.2 Analisis ANOVA Pengujian Kekasaran Permukaan..... 85
5.4 Rasio S/N dan Analisis Penentuan Efek Tiap Faktor 86
5.4.1 Analisis Penentuan Efek Tiap Faktor Kekuatan Tarik..... 86
5.4.2 Analisis Penentuan Efek Tiap Faktor Kekasaran Permukaan..... 88
5.5 Analisis Prediksi Level Terbaik Masing-Masing Variabel Respon..... 90
5.6 Analisis Penentuan Level Faktor Optimal. 93
5.7 Validasi Expert..... 95
BAB VI PENUTUP 98
6.1 Kesimpulan..... 98
6.2 Saran..... 98
DAFTAR PUSTAKA 100
LAMPIRAN..... 2

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 State of Art 11
Tabel 2. 2 Tabel Standar Orthogonal Array 38
Tabel 2. 3 Perbedaan MADM dan MODM 38
Tabel 2. 4 Linguistic Terms USED in The Study 40
Tabel 2. 5 Linguistic Terms USED in The Study (Score) 40
Tabel 3. 1 Penentuan Faktor dan Level Parameter 50
Tabel 3. 2 Matriks Orthogonal yang digunakan 50
Tabel 3. 3 Score pada level dan faktor Parameter 51
Tabel 4. 1 Hasil data pengujian kekuatan tarik 55
Tabel 4. 2 Hasil data pengujian kekasaran permukaan 56
Tabel 4. 3 Faktor dan Replikasi uji kekuatan tarik 58
Tabel 4. 4Tabel rangkuman hasil penjumlahan faktor Pengujian Tarik 59
Tabel 4. 5 Hasil akhir ANOVA uji tarik 60
Tabel 4. 6 Faktor dan Replikasi uji kekasaran permukaan 61
Tabel 4. 7 tabel rangkuman hasil penjumlahan factor Kekasaran Permukaan 62
Tabel 4. 8 Hasil Akhir ANOVA uji kekasaran permukaan 63
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Rasio S/N Kekuatan Tarik 65
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Rasio S/N Kekasaran permukaan 66
Tabel 4. 11 Penentuan Efek tiap faktor uji kekuatan tarik 66
Tabel 4. 12 Penentuan efek tiap faktor uji kekasaran permukaan 67
Tabel 4. 13 Tabel 1/64 67
Tabel 4. 14 Persamaan regresi linear berganda uji tarik 69
Tabel 4. 15 hasil prediksi kekuatan Tarik spesimen 69
Tabel 4. 16 Persamaan regresi linear berganda uji kekasaran permukaan 72
Tabel 4. 17 hasil prediksi kekasaran permukaan spesimen 72
Tabel 4. 18 Spesifikasi Creality CR-10S Pro 75
Tabel 4. 19 Hasil Optimal metode MRSN 77
Tabel 5. 1 Hasil keputusan ANOVA pengujian tarik 84
Tabel 5. 2 Hasil keputusan ANOVA Kekasaran Permukaan 85
Tabel 5. 3 Penentuan Parameter Kekuatan Tarik 87
Tabel 5. 4 Penentuan Efek tiap Faktor Kekasaran Permukaan 90
Tabel 5. 5 Perbandingan hasil dan regresi linear uji tarik 91
Tabel 5. 6 Perbandingan hasil dan regresi linear uji Kekasaran Permukaan 91
Tabel 5. 7 Perbandingan Prediksi Parameter 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pengguna mesin 3D *Printer* FDM 3
Gambar 2. 1 Alur Mekanisme Pencetakan Tiga Dimensi 29
Gambar 2. 2 Spesimen ASTM D-638 30
Gambar 2. 3 Notasi Matriks Orthogonal 38
Gambar 3. 1 Alur Penelitian 44
Gambar 3. 2 Creality CR-10S Pro 47
Gambar 3. 3 Tensilon RTF Series 48
Gambar 3. 4 Starret SR 3000 48
Gambar 3. 5 ASTM D-638 52
Gambar 3. 6 Proses Pencetakan Spesimen 53
Gambar 3. 7 Proses Uji kekuatan Tarik 54
Gambar 4. 1 Hasil Uji Normalitas Uji Kekuatan Tarik 56
Gambar 4. 2 Hasil Uji Normalitas Kekasaran Permukaan 57
Gambar 4. 3 Uji Homogenitas kekuatan tarik 57
Gambar 4. 4 Uji Homogenitas uji kekasaran permukaan 57
Gambar 4. 5 Hasil Linear Regresi Berganda uji kekuatan Tarik Replikasi 1 68
Gambar 4. 6 Hasil Linear Regresi Berganda uji kekuatan Tarik Replikasi 2 68
Gambar 4. 7 Hasil Regresi linear berganda kekasaran permukaan replikasi 1 71
Gambar 4. 8 Hasil Regresi linear berganda kekasaran permukaan replikasi 2 72
Gambar 5. 1 Grafik Selisih Level Uji Tarik 87
Gambar 5. 2 Grafik Selisih Level Uji Kekasaran Permukaan 89

BAB I

PENDAHULUAN

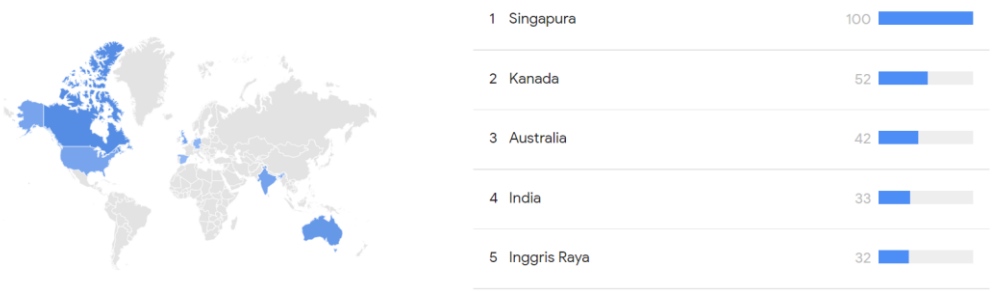
1.1 Latar Belakang

Zaman sekarang teknologi mengalami perkembangan dan kemajuan yang mana sangat banyak mesin serta peralatan yang dapat memudahkan dan menunjang seluruh aktivitas dari masyarakat. Salah satu perubahan dan perkembangan teknologi tersebut ada pada bidang manufaktur yaitu tekonologi 3D *Printing*. Kehadiran teknologi 3D *Printing* di dunia manufaktur telah merevolusi dunia. Teknik 3D print ini yang disebut juga dengan pembuatan lapisan aditif sudah ada sejak dulu yaitu sekitar tahun 1980 awal (Mustapha & Metwalli, 2021a). Proses cetak 3D merupakan sebuah inovasi baru dalam perkembangan dunia teknologi. Sehingga inovasi dapat menggemparkan seluruh dunia, terkhususkan di bidang *science* dan industri (Kothari et al., 2021). Adanya teknologi 3D *Printing* sangat mempengaruhi beberapa sektor perindustrian terutama dari segi ekonomi. Purwarupa cepat atau dikenal dengan istilah *rapid prototyping* merupakan salah satu manfaat yang dapat ditemukan dari munculnya teknologi 3D *Printing* ini (Rusianto et al., n.d.).

Peneliti yang menciptakan konsep ini pertama kali adalah Dr. Hideo Kodama pada tahun 1981 yang mana Dr. Kodama menciptakan mesin penyemburan resin dengan teknologi laser atau yang bisa disebut dengan Stereolithography (SLA). 3D *Printer* yang pertama kali berhasil di uji coba dan mencetak sebuah produk adalah 3D *Printer* berjenis *Selective Layer Sintering* (SLS). *Selective Layer Sintering* menggunakan konsep masing-masing lapisan akan diselimuti sejenis tissue atau plastik tipis digabungkan dengan laser pencetak untuk mencetak sesuai dengan desain yang diinginkan (Adji et al., 2021). Pengajuan paten terkait konsep tersebut awalnya sudah diajukan oleh Dr. Kodama pada

tahun 1981 namun gagal dikarenakan belum dapat menyelesaikan mesin tersebut dengan sempurna. Pada tahun 1984 tiga orang peneliti dari Prancis juga mengajukan paten atas mesin yang serupa namun juga gagal dikarenakan masalah pendanaan yang membuat mesin tersebut tidak terselesaikan hingga pada tahun 1988 Carl Deckart berhasil menciptakan dan mendapatkan hak paten atas *Selective Layer Sintering,* kemudian berhasil mencetak sebuah potongan plastik tipis tanpa batas ukuran dan dimensi. Seiring berkembangnya waktu masyarakat membutuhkan benda-benda kecil namun memiliki presisi yang tinggi dan memiliki dimensi yang akurat, sehingga *Selective Layer Sintering* belum sempurna dalam menciptakan hal tersebut. Kemudian pada tahun 1992 Scott Crump mendirikan perusahaan 3D *Printing* berbasis presisi tinggi yang mana mendapatkan juga hak paten atas penemuan barunya yaitu *Fused Deposition Modeling* (FDM). Prinsip operasi FDM adalah melelehkan termoplastik pada suhu leleh, dan kemudian produk dibuat lapis demi lapis.

Fused deposition modelling memiliki aspek dasar yang sederhana tetapi mampu memproduksi geometri dan pola yang kompleks. *Fused deposition modelling* merupakan proses *Additive Manufacturing* dengan menggunakan konsep ekstrusi leleh di mana bahan baku filamen disediakan oleh perangkat yang dikendalikan oleh motor listrik. Bahan yang digunakan utamanya adalah *Polylactic Acid* (PLA) dan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). Masing-masing filamen memiliki keunggulannya tersendiri seperti contoh bahwa filamen *Polylactic Acid* merupakan bahan organic yang terbuat dari saripati jagung sehingga aman bagi lingkungan (Oktavian et al., 2021a). *Fused deposition modeling* sendiri sudah banyak digunakan oleh seluruh kalangan masyarakat dikarenakan memiliki beberapa keuntungan seperti harga yang murah, mudah digunakan dan dipelajari, material atau bahan yang mudah dicari, dan suku cadang yang murah serta mudah untuk didapatkan (Yuk, Kulik Soal Fused Deposition Modeling di Sini!, 2022). Menurut *Google Trends* negara dengan pengguna FDM terbanyak adalah Singapura dengan pengguna yaitu berjumlah 100%. Berikut merupakan grafik datanya.



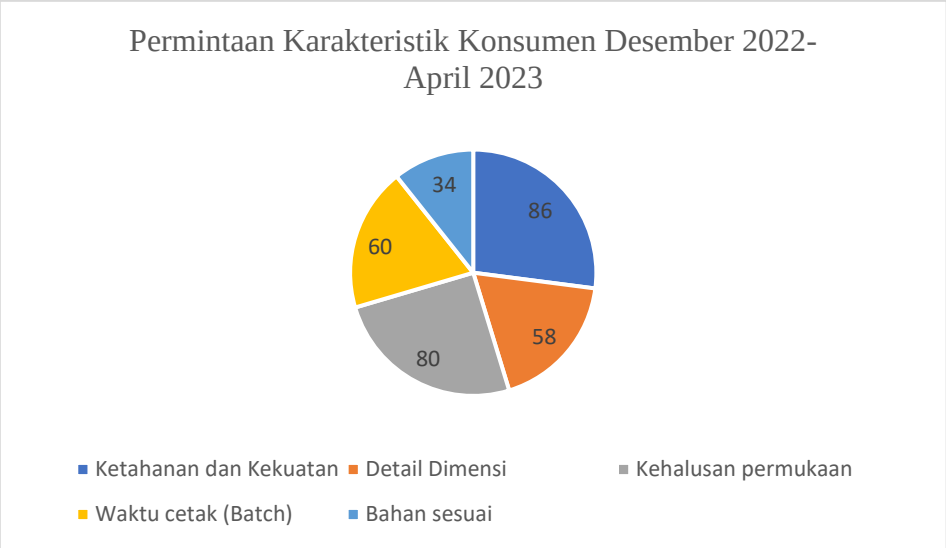
Gambar 1. 1 Pengguna mesin 3D *Printer* FDM

Sumber : Google Trends

Cara kerja dari *Fused deposition modelling* adalah bagian *extruder* yang dipanaskan akan melelehkan filamen. Bahan filamen yang meleleh didorong melalui selang *extruder* ke arah *nozzle* dan akan mencairkan lelehan ini di sepanjang bidang XY pada *platform* (meja kerja tanpa perlengkapan). *Platform* bergerak ke bawah atau *print head* bergerak ke atas sepanjang arah Z tepat satu ketebalan lapisan setelah selesainya lapisan yang telah dicetak dan akan melanjutkan ke lapisan selanjutnya (atasnya) sehingga struktur tiga dimensi (3D) dibuat dengan konsep lapis demi lapis (layer per layer). Proses ini berlanjut sampai bagian tersebut dibangun (Vyavahare et al., 2020). Namun sebelum memasuki proses pencetakan akan dilaksanakan sebuah proses yaitu desain tiga dimensi atau yang sering disebut *Computer Aided Design* (CAD). Setelah desain tersebut dibuat sesuai dengan produk yang dibutuhkan, maka dari file design tersebut akan di konversi ke *Gcode* agar dapat dibaca oleh mesin pencetakan tiga dimensi. Pada saat konversi, akan digunakan *software slicer* yang berfungsi untuk mengatur parameter sehingga pengguna dapat mengatur kualitas hasil produk yang akan dicetak. Parameter yang dimaksud adalah seperti *layer thickness* yang berfungsi untuk mengatur ketebalan cetak per lapisannya, suhu pencetakan berfungsi untuk mengatur suhu pada *nozzle* mesin, *Printing speed* berfungsi untuk mengatur kecepatan dalam proses pencetakan, dan masih banyak parameter yang digunakan untuk mencetak (Agus Pamasaria & Hannanto Saputra, 2020).

Pada dasarnya mesin pencetakan tiga dimensi ini digunakan untuk mencetak berbagai macam hal seperti produk kebutuhan ataupun purwarupa dalam suatu desain yang baru serta inovasi produk (Salsana et al., 2022). Menurut wawancara dengan Bapak

Bambang Agus Setiawan selaku laboran laboratorium Bahan Universitas Negeri Yogyakarta dan Bapak Mujiono selaku dosen S-3 dari UNY menyatakan bahwa penelitian yang melibatkan pencetakan produk kebanyakan akan meneliti terkait dengan kekuatan, kekokohan serta hasil *finishing* produk yang baik dalam hal permukaannya. Berikut merupakan rangkuman data historis berdasarkan mahasiswa serta peneliti yang hendak melakukan penelitian tentang 3D *Printing*.



Gambar 1. 2 Data Karakteristik Konsumen

Sumber : Data Rekap Mahasiswa Pengguna 3D Print Lab Bahan UNY

Berdasarkan Gambar 2.1 diatas dapat dilihat bahwa paling banyak mahasiswa dan peneliti melakukan cetak produk dengan karakteristik ingin hasil cetakan kokoh dan ketahanan yang kuat dilanjutkan dengan memiliki permukaan yang halus. Ketahanan dan kekokohan produk akan diujikan melalui uji kekuatan Tarik, uji tekan, dan uji *impact*. Kemudian kehalusan produk digunakan sebagai kualitas estetika dari produk dan sebagai evaluasi untuk memahami apabila dalam proses ada suatu kesalahan sehingga membuat permukaan tidak baik.

Pada proses pencetakan material pada 3D Print FDM terdapat parameter-parameter yang akan mempengaruhi kualitas produk akhir. Pencetakan material akan diwakilkan dalam bentuk berupa specimen dengan jenis *American Standard and Testing Material* (ASTM) D-638. Spesimen tersebut akan dicetak dengan bahan PLA (*Polylactic*

Acid) yang memiliki perubahan pada suhu 165^{o}C - 230 ^{o}C tergantung dari jenis PLA dan merk yang digunakan (Cano-Vicent et al., 2021). Kemudian parameter-parameter yang akan dirubah sesuai dengan *orthogonal array* antara lain *Layer thickness, Extruder Temperature, infill pattern, infill density, Printing speed*¸ dan *Printing nozzle* (Dey & Yodo, 2019). Parameter-parameter tersebut sangat mempengaruhi kualitas produk nantinya pada saat pengujian, contohnya adalah parameter *Printing speed* yang mana akan mempengaruhi kecepatan dalam proses pencetakan dan kekasaran pada permukaan produk. Semakin besar dan tinggi nilai *Printing speed* diberikan, maka akan semakin tinggi tingkat kekasaran pada produk dan akan semakin cepat juga proses pencetakan tersebut. (Taufik et al., 2020). Kemudian salah satu parameter lagi adalah *layer thickness* atau ketebalan per lapisan. Pada parameter tersebut dapat diatur mengenai ketebalan per lapisannya dengan satuan milimeter (mm), dimana jika nilai *layer thickness* semakin kecil maka akan semakin halus dan rapi hasil produknya, namun akan memperkecil ketahanannya, sedangkan semakin besar nilai *layer thickness* maka hasil cetakan per layernya sangat besar namun ketahanannya akan semakin baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *layer thickness* ini mempengaruhi dari segi ketahanan daya tekan dan tariknya. (Dwiyati et al., 2019). Kemudian parameter berikutnya adalah *infill density* atau tingkat densitas isi yang digunakan dalam proses pencetakan produk. Parameter ini mempengaruhi dari tingkat kepadatan produk akhir dan mempengaruhi ketelitian dari dimensi produk akhir (Gunawan, 2020). Parameter yang terakhir adalah *infill pattern* atau pola isi yang menhubung antara *wall* satu dengan yang lainnya serta membuat hasil produk lebih kuat dan kokoh. Parameter *infill pattern* mempengaruhi ketahanan dalam uji Tarik dan uji tekan sehingga tidak mudah untuk rusak, kemudian dengan menggunakan *pattern* yang berbeda maka tingkat ketahanannya juga akan berbeda, sehingga diperlukan *pattern* yang cocok (Sirwansyah Suzen et al., 2021).

Dari latar belakang permasalahan yang ada, akan dilakukan pengujian kombinasi parameter untuk mendapatkan kekuatan uji Tarik dan kehalusan yang terbaik dan sesuai dengan kebutuhan konsumen. Uji Tarik digunakan untuk menguji kelenturan pada specimen yang akan diujikan sehingga berapa lentur serta penambahan Panjang apabila ditarik dengan beban tarikan tertentu (Budiman, 2016). Uji kekasaran permukaan yang

digunakan untuk meneliti pada permukaan produk akan diteliti terkait dengan kekasarannya. Pada dasarnya secara visual produk dapat diteliti namun akan lebih tepat dan presisi apabila menggunakan alat khusus sehingga dapat diketahui secara detail terkait dengan kekasarannya (Mufarrih et al., 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun berikut rumusan masalah yang akan ditampilkan serta diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian yang dilakukan untuk mencari kombinasi parameter optimal adalah pengujian kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan. Namun kombinasi parameter yang dicari adalah yang memenuhi kebutuhan dan permintaan konsumen yaitu produk yang memiliki kekokohan, ketahanan, dan kehalusan pada permukaannya. Sehingga akan dicari solusi terbaik berdasarkan konsumen tersebut.

1.3 Batasan Permasalahan

Berikut merupakan batasan permasalahan yang terdapat pada penelitian ini.

1. Perhitungan biaya menggunakan referensi dan asumsi terbaik.

1.4 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian sebagai berikut.

1. Menentukan parameter optimal yang mempengaruhi kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan sesuai dengan kebutuhan dan permintaan konsumen.
2. Menentukan biaya paling murah dengan kualitas spesimen paling baik.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Peneliti dapat menerapkan dan mengaplikasikan metode Taguchi yang didapatkan dari perkuliahan secara penunjang lainnya untuk mendapatkan hasil dari penelitian.

2. Peneliti dapat mendapatkan pengalaman ketika meneliti untuk dijadikan sebagai bahan pertimbangan Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan dan kerangka teori yang menjadi dasar pada penelitian yang akan dilakukan. Rumusan masalah yang peneliti gunakan untuk melakukan kajian ini adalah untuk menambah referensi terkait dengan metode Taguchi yang digunakan untuk mencapai solusi optimal dan parameter-parameter yang hendak diteliti serta kualitas hasil produk yang disesuaikan dengan kebutuhan serta permintaan dari konsumen. Peneliti menggunakan metode Taguchi sebagai metode utama dalam penyelesaian masalah dikarenakan metode ini dapat memberikan solusi yang cocok, sebagaimana yang disebutkan oleh D.C Montgomery dalam bukunya yang berjudul "An Introduction to the Taguchi Method" bahwa metode ini dapat digunakan untuk perbaikan kualitas produk sesuai dengan parameter atau spesifikasi yang diinginkan.

Kajian literatur yang digunakan akan merujuk pada penelitian terdahulu yang sudah diteliti dan terverifikasi. Pada kajian pertama, membahas terkait dengan penggunaan teknologi 3D *Printing* dalam membuat sebuah produk serta *review* terkait bagaimana teknologi 3D *Printing* ini dapat dibuat sebuah produk dengan bahan yang berbeda-beda. Seperti misalnya dengan bahan *Polylactid Acid* (PLA), bahan *polymeric* dan komposit, serta bahan *thermoplastic* hal tersebut sudah dianalisis oleh: (Awasthi & Banerjee, 2021); (Prihadianto & Darmo, 2021); (Kumara et al., 2018); (Mustapha & Metwalli, 2021b). Hasil menunjukkan bahwa 3D *Printer* dapat membuat setiap produk dengan representasi *prototype* menggunakan macam-macam bahan tergantung dari

kebutuhan penggunanya. Namun pada saat membuat *prototype* tersebut tidak dilupakan juga membuat desain tiga dimensi terlebih dahulu menggunakan *software* tertentu.

Dalam pembuatan produk juga diperlukan adanya optimisasi agar produk yang dicetak menggunakan mesin tersebut dapat diproses sesuai dengan parameter yang optimal. Pada penelitian sebelumnya, sudah ada beberapa kajian terkait optimisasi menggunakan metode yang berbeda-beda. Metode yang paling sering digunakan untuk mencapai solusi salah satunya adalah metode Taguchi. Metode ini menggunakan beberapa faktor serta level yang sudah dipilih tergantung dari peneliti. Peneliti yang sudah melakukan penelitian terkait dengan optimisasi adalah sebagai berikut: (Wu et al., 2021); (Habibil Rizka, 2022); (Mahmood et al., 2018); (Kafshgar et al., 2021); (Wankhede et al., 2019); (Alafaghani & Qattawi, 2018). Dari optimisasi yang sudah dilakukan akan dipilih parameter terbaik sesuai dengan penelitian yang dilaksanakan.

Pada dasarnya optimisasi yang dilakukan tergantung dari variabel yang hendak diletiti serta pengaruhnya terhadap kualitas produk. Contohnya adalah peneliti hendak meneliti pengaruh parameter tertentu yang nantinya apakah berdampak pada kualitas produk yang sudah dicetak. Variabel yang diteliti adalah kekuatan tekan dari suatu produk dengan parameter yaitu ukuran *nozzle*, dengan menggunakan metode tertentu seperti Taguchi, peneliti dapat mendapatkan hasil yang optimal yaitu parameter-parameter yang cocok sesuai dengan variabel respon yang dipilih. Peneliti yang sudah mengkaji masalah tersebut antara lain : (Sirwansyah Suzen et al., 2021); (Hakim et al., 2019); (Teknik Mesin & Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2021); (Arifsa & Prastowo, 2019);(Darsin et al., 2022).

Berdasarkan penelitian dan kajian yang sudah dilakukan oleh banyak peneliti, maka dari itu peneliti hendak melakukan penelitian menggunakan mesin cetak tiga dimensi dengan tipe *Fused Deposition Modeling* (FDM) untuk mendapatkan parameter yang optimal terhadap kualitas sebuah produk. Produk yang dipilih adalah *American Standard for Testing and Material* (ASTM D-638) dengan variabel respon yaitu menguji kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan. Sehingga luaran yang paling utama adalah mendapatkan parameter yang terditi dari beberapa faktor untuk mendapatkan kualitas produk yang terbaik menggunakan metode Taguchi, ANOVA, dan *Multi Respon Signal*

to Noise. Berikut merupakan jurnal penelitian terdahulu yang dijadikan acuan referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2. 1 State of Art

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek						Model/Teori/Metode			
				Spesimen	**FDM**	***Tensile***	***Surface Roughness***	***Bending***	**PLA**	***Rapid Prototyping***	**Taguchi**	**ANOVA**	**MRSN**	**Optimisasi**
1.	Awasthi P dan Banerjee S	*Fused deposition modeling of thermoplastic elastomeric materials: Challenges and opportunities*	2021	✓	✓		✓			✓				
2.	Prihandiant o Braam dan Suryo Darmo	Aplikasi Teknologi 3D *Printer* Dalam	2021		✓					✓				

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek						Model/Teori/Metode				
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		Rangka Pengembangan Pembuatan Komponen Miniatur di Karang Taruna Dusun Bendungan												
3.	Kumara S dan Ulin Ranicafirta	Pemanfaatan Teknologi 3D *Printing* Dalam Proses Desain	2018		✓				✓	✓				

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek						Model/Teori/Metode				
				Spesimen	**FDM**	***Tensile***	***Surface Roughness***	***Bending***	**PLA**	***Rapid Prototyping***	**Taguchi**	**ANOVA**	**MRSN**	**Optimisasi**
		Produk Gaya Hidup												
4.	Mustapha K dan Metwalli K	*A review of fused deposition modelling for 3D Printing of smart polymeric materials and composites*	2021		✓				✓	✓				
5.	Wu L, Park J, dan	*Optimization of the fused deposition*	2020	✓	✓		✓		✓					✓

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode			
				Spesimen	**FDM**	***Tensile***	***Surface Roughness***	***Bending***	**PLA**	***Rapid Prototyping***	**Taguchi**	**ANOVA**	**MRSN**	**Optimisasi**
	Kamaki Y	*modeling-based fabrication process for polylactic acid microneedles*												
6.	Habibil Rizka	*The influent of 3D Printing parameters on Bending Strenght of Polylactic*	2022	✓	✓			✓	✓		✓	✓		

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek						Model/Teori/Metode				
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		Acid Filament												
7.	Mahmood S, Qureshi A dan Talamona D	*Taguchi based process optimization for dimension and tolerance control for fused deposition modelling*	2018	✓	✓				✓		✓			
8.	Kafshgar A,	*Optimization of Properties*	2022	✓	✓				✓		✓	✓		

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek						Model/Teori/Metode			
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
	Rostami S dan Aliha M	*for 3D Printed PLA Material Using Taguchi, ANOVA and Multi-Objective Methodologies*												
9.	Wankhede V dan Jagetiya D	*Experimental investigation of FDM process*	2019	✓	✓						✓			

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode		
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		parameters using Taguchi analysis												
10.	Alafaghani A dan Qattaqi A	*Investigating the effect of fused deposition modeling processing parameters using Taguchi design of*	2018	✓	✓				✓		✓			

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode		
				Spesimen	**FDM**	***Tensile***	***Surface Roughness***	***Bending***	**PLA**	***Rapid Prototyping***	**Taguchi**	**ANOVA**	**MRSN**	**Optimisasi**
		experiment method												
11.	Sirwansyah Suzen	Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen	2021	✓	✓	✓			✓		✓			

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode		
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		PLA+												
12.	Darsin M dan Mauludy R	*Analysis of the effect 3D Printing parameters on tensile strength using Copper-PLA*	2019	✓	✓	✓			✓		✓			
13.	Hakim R dan Saputra	Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate terhadap	2019	✓			✓		✓		✓			

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode			
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D *Printer*												
14.	Arifsa F dan Prastowo A	*Application of Taguchi Method In The Optimization*	2019	✓	✓		✓		✓			✓		✓

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode			
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		of 3D Printer Process Parameters for Dimensional Accuracy and Surface Roughness												
15.	Teknik Mesin dan Manufaktur Negeri Bangka Belitung	Pengaruh Setting Parameter pada Slicing Software terhadap	2021				✓				✓			

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek						Model/Teori/Metode				
				Spesimen	**FDM**	***Tensile***	***Surface Roughness***	***Bending***	**PLA**	***Rapid Prototyping***	**Taguchi**	**ANOVA**	**MRSN**	**Optimisasi**
		Surface Roughness Objek 3D *Printing Menggunakan Metode Taguchi*												
16.	Muhammad Viery Syahanifadhel	*Optimasi Parameter Pada Proses Pencetakan 3D Printing FDM (Fused Deposition*	2023	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓

No	Penulis	Judul	Tahun	Objek							Model/Teori/Metode			
				Spesimen	FDM	*Tensile*	*Surface Roughness*	*Bending*	PLA	*Rapid Prototyping*	Taguchi	ANOVA	MRSN	Optimisasi
		Modeling) Terhadap Kualitas Produk Berbahan Filamen PLA (Polylactic Acid) dengan Pendekatan Taguchi Multi Respon Signal To Noise												

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Teknologi 3D *Printing*

Seorang ahli Jacobs, Paul Francis (1992) Pencetakan 3D telah menjadi salah satu dari banyak proses untuk menggabungkan atau memadatkan bahan menjadi objek 3D di bawah kendali komputer sejak digunakan pada *Printer* 2D pada sekita tahun 1960. Teknologi *inkjet* digunakan pada pencetakan *Printer* 3D, tetapi cara kerjanya hampir sama seperti pada *Printer* 2D (Shahrubudin et al., 2019). Dimana *inkjet* bergerak kedepan dan kebelakang saat bahan tersebut dikeluarkan. Bedanya, *Printer* inkjet 2D hanya bisa bergerak secara horizontal, sedangkan *Printer* inkjet 3D bisa bergerak secara vertikal ditambah diagonal pada saat mengeluarkan cairan, namun dengan bahan seperti lilin sebagai pengganti tinta seperti *Printer* 2D, ini adalah sebuah polimer yang berbahan plastik sehingga dalam hal ini polimer tersebut disebut dengan filamen (Oktavian et al., 2021b). Berikut merupakan jenis-jenis filamen yang sering digunakan dalam proses percetakan tiga dimensi (3D).

1. ABS (*Acentonitrile Butadiene Styrene*)

   Acetonitrile butadiene styrene merupakan material umum yang salah satunya digunakan untuk filamen dalam mesin cetak 3D. Pemilihan jenis filamen cetak 3D ini dipilih dikarenakan beberapa alasan terutama pada suhu pelelehan dan ketahanan kimianya. Filamen ini juga sangat tahan lama dan mudah dibersihkan dengan menguapkan propanon atau yang sering disebut dengan aseton. Filamen dari bahan *Acetonitrile butadiene styrene* ini juga memiliki kekurangan yaitu merupakan plastik sintetis dan tidak dapat terurai secara alami. Juga, asap berbahaya digunakan selama pencetakan. Karena *Acetonitrile butadiene styrene* membutuhkan suhu tinggi, ia juga mengkonsumsi daya yang besar.

2. PLA (*Polyactic Acid*)

   Polyactic Acid atau PLA merupakan salah satu bahan material yang popular dan sering digunakan oleh banyak masyarakat terutama yang memiliki ketertarikan di bidang 3D *Printing*. Alasan dari penggunaan *Polyactic Acid* adalah karena itu adalah sumber daya

alam yang terurai ketika dibuang ke tanah (Setyawan & Ngadiyono, n.d.). Dari segi biaya, produk ini terbilang murah kemudian banyak dijual di pasaran dan membutuhkan panas sedikit untuk mencairkannya. Dari kelebihan yang sudah disebutkan, *Polyactic Acid* memiliki kekurangan juga yaitu bahannya sangat mudah meleleh bila diberi panas yang cukup tinggi. Bahan untuk model ini tidak boleh dibiarkan terkena panas atau dingin terlalu lama agar tidak mengubah bentuk dan ketahanan.

3. *Nylon*

   Bahan nilon juga sangat baik bila digunakan dalam pencetakn 3D *Printing*. Alasan bahan nilon juga dipakai tidak lain adalah soal kekokohan dan kekuatannya. Sampai saat ini, nilon telah banyak digunakan dalam tekstil karena kekuatannya yang sempurna. Ketika diterapkan pada model 3D, tidak mungkin meleleh dengan cepat. Bahan material ini sangat stabil pada suhu yang tinggi dan dapat dengan mudah diwarnai sesuai kebutuhan. Kekurangan dari bahan nilon itu sendiri adalah berbeda dengan *Polyactic Acid*, nilon membutuhkan suhu yang sangat tinggi untuk melelehkannya sebelum dapat dicetak menjadi desain tertentu. Selain itu, nilon rentan terhadap tekukan dan kerutan, yang mengganggu proses pencetakan.

2.2.2 CAD (Computer Aided Design)

Menurut SAGE (SemiAutomatic Ground Environment) pada tahun 1970, *Computer Aided Design* atau yang disebut sebagai CAD merupakan *software* komputer yang digunakan untuk membuat mulai dari sketsa desain produk atau bagian dari produk. CAD bisa dalam format model 2D, 3D dan solid. Perangkat lunak CAD dimulai dengan mengganti sketsa dan sejak itu berkembang dan berhubungan dengan *software* pada sistem CAE (*Computer Aided Engineering*) dan CAM (*Computer Aided Manufacturing*) (Handayani & Ningsih, 2005). Hubungan ini dimungkinkan karena perangkat lunak CAD sekarang menjadi aplikasi desain produk/komponen untuk pemodelan bentuk dan/atau permukaan padat. Pemodelan *solid* memberi Anda visualisasi realistis dari komponen atau produk yang dibuat. Contoh software CAD adalah Solidworks 2018, Fusion 360 dan

Catia. Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan penggunaan *Computer Aided Design*: (Teknologi Pendidikan & Gunawan Sakti, 2019)

Kelebihan :

- **Meningkatkan Kualitas Design**

  Fleksibilitas besar yang disediakan oleh CAD memungkinkan desain yang lebih baik untuk dipahami. Jauh lebih mudah untuk memahami, mendiagnosis, dan mengusulkan solusi menggunakan berbagai fitur yang dibuat khusus untuk tujuan tersebut. Tentunya hal ini akan membuat produk menjadi lebih baik secara keseluruhan

- **Meningkatkan Produktivitas**

  Faktanya, mendesain menggunakan tangan dapat memakan banyak waktu. CAD *Software* memungkinkan alur kerja yang lebih cepat dan lebih cerdas, sehingga proyek juga akan lebih cepat. Lingkungan yang disediakan CAD mengubah cara dan waktu dalam hal pengembangan produk, dan tentunya membuat waktu produk baru ke pasar lebih efisien.

- **Memungkinkan adanya kerja sama atau kolaborasi**

  CAD Software menyediakan platform yang sempurna untuk bekerja secara bersama-sama atau melakukan kolaborasi. Kolaborasi yang dimaksud adalah seperti halnya desainer dengan insinyur yang harus memiliki komunikasi yang sangat penting dikarenakan memiliki pengaruh besar terhadap produk

Kekurangannya sendiri adalah hanya terdapat pada *software*-nya seperti masalah lisensi yang sangat mahal sehingga banyak yang menggunakan aplikasi bajakan atau tidak *original* yang mana dapat mengganggu keaslian dari aplikasi yang digunakan.

2.2.3 Additive Manufacturing

Additive Manufacturing atau yang disingkat dengan AM merupakan istilah resmi untuk apa yang dulu disebut *rapid prototyping* dan pencetakan 3D (Armstrong et al., 2022). Teknologi manufaktur aditif adalah teknologi canggih yang menciptakan produk dengan membangun dua lapisan tipis material dari desain digital tiga dimensi (3D) yang dibuat menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer canggih. Hal ini merupakan

sebuah inovasi terbaru dalam dunia teknologi. Inovasi inilah sangat terkenal dan menggemparkan seluruh dunia, terutama di kalangan ilmuwan yang sedang mencari sebuah inovasi. Karena masyarakat serta ilmuan percaya bahwa inovasi terbaru ini akan dapat membawa kemajuan kepada dunia. Sesuai dengan definisinya sendiri, mesin 3D *print* merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk melakukan pencetakan tiga dimensi (3D) dengan menggunakan bahan serta bantuan perangkat lunak tertentu. Berikut merupakan jenis-jenis dari *Additive Manufacturing*:

- ***Binder Jetting Process***

  Binder Jetting adalah proses yang secara selektif menerapkan cairan cair untuk mengikat bahan bubuk menjadi satu untuk membentuk bagian 3D. Injeksi pengikat unik di antara teknik manufaktur aditif yang tersedia saat ini. Ini karena prosesnya tidak menggunakan panas selama proses seperti yang dilakukan orang lain untuk menyatukan bahan.

- ***Directed Energy Deposition* (DED)**

  Directed Energy Deposition (DED) adalah proses pembentukan objek 3D dengan cara melebur suatu material. Bahan selanjutnya disimpan menggunakan energi panas terfokus seperti laser, berkas elektron atau busur plasma. Sumber daya dan nosel pengumpanan material diproses oleh sistem gantry atau lengan robot.

- ***Material Extrusion***

  Ekstrusi material adalah teknik manufaktur aditif yang menggunakan filamen kontinyu termoplastik untuk membangun bagian 3D. Scott Crump awalnya mengembangkan dan mematenkan ekstrusi bahan ini menggunakan metode Fused Deposition Modeling (FDM) pada tahun 1980. (Mustapha & Metwalli, 2021a).

- ***Material Jetting***

  Dengan *Material Jetting*, tetesan bahan bangunan dan pendukung disemprotkan ke permukaan bangunan pada titik-titik tertentu. Kemudian diolah menjadi objek 3D dengan sinar ultraviolet atau panas. Bahannya bisa disemprotkan terus menerus atau sesuai permintaan yaitu untuk memproduksi *part*.

- ***Powder Bed Fussion***

Powder Bed Fussion memiliki laser yang panas atau berkas elektron yang memiliki fungsi untuk melelehkan dan menyatukan bahan material untuk membentuk sebuah objek tiga dimensi. Proses ini menggunakan konsep menyebarkan material seperti bubuk diatas lapisan yang sudah dilapisi sebelumnya, sehingga sudah siap untuk diproses ke lapisan berikutnya dan sifatnya adalah diskrit.

Seiring berkembangnya jaman, 3D *Printing* mengalami banyak kemajuan terutama dalam jenis-jenisnya. Berikut merupakan jenis-jenis dari mesin 3D *Printing* yang sudah sejak dulu dan dikembangkan di jaman sekarang.

1. *Stereolithography* (SLA)

   Stereolithography adalah jenis pencetakan 3D pertama karena sejak dulu sudah digunakan untuk proses pencetakan 3D. Hal ini ditandai dengan fakta bahwa bahan dicetak lapis demi lapis dan ditumpuk secara berurutan untuk membentuk desain yang diinginkan.

2. *Selective Laser Sintering* (SLS)

   Memiliki desain dan bentuk yang mirip dengan SLA, *Printer* ini memiliki perbedaan yang mendasar pada bahan yang digunakan untuk membentuk produk cetakan tiga dimensi. Dalam penggunaan bahannya pun berbeda, bila SLA menggunakan sejenis cairan maka SLS menggunakan bahan seperti bubuk. Dibanding *Printer* sebelumnya, jenis ini mempunyai *sparepart* yang lebih kokoh meskipun pada hasil akhir tidak terlalu halus dan masih kasar. Sehingga dapat disimpulkan pada jenis 3D *Printing* ini sangat cocok untuk mencetak produk objek dengan material yang memiliki variasi

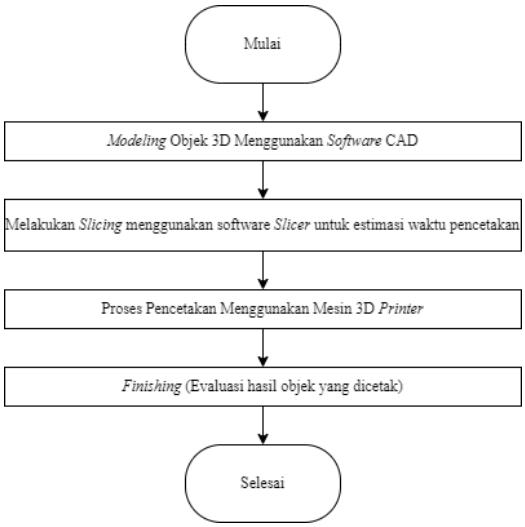
3. *Fused Deposition Modeling* (FDM)

   FDM atau kepanjangan dari *Fused Deposition Modeling* dapat diartikan sebagai *Combined Deposition Modeling*, yaitu jenis percetakan 3D yang pada proses cetaknya menggunakan bahan plastik. Dibandingkan dengan jenis lain, *Fused Deposition Modeling* adalah yang paling hemat biaya, ramah lingkungan dan memiliki waktu pencetakan tercepat. Kekurangannya adalah permukaan yang dihasilkan sedikit kasar dan tidak terlalu tahan karena terbuat dari plastik. Tipe ini paling banyak digunakan oleh perusahaan ternama seperti otomotif Hyundai dan

produk *Food and Beverage* seperti Nestle. Penggunaan *Fused Deposition Modeling* sering ditujukan untuk pembuatan prototipe produk.

2.2.3.1 Mekanisme Proses 3D *Printing*

Berikut merupakan diagram alur dari mekanisme proses pencetakan menggunakan mesin 3D *Printing*.



Gambar 2. 1 Alur Mekanisme Pencetakan Tiga Dimensi

1. Desain objek 3D

   Model desain untuk 3D *Printing* dibuat menggunakan berbagai macam *software* yang dikhususkan untuk desain 3D dalam konsepnya adalah CAD. Selain itu *software* yang digunakan harus dapat mendukung konversi *file* agar dapat dicetak dalam mesin 3D *Printing*. *Software* tersebut antara lain *solidworks, catia,* dan lainnya.

2. Proses Pencetakan Spesimen

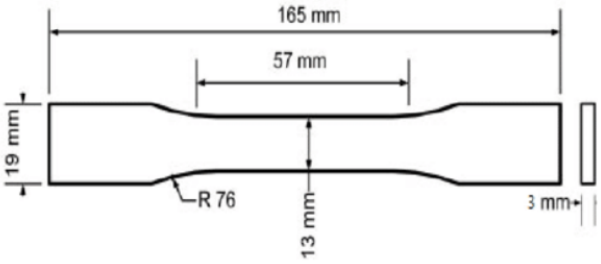
   Setelah file 3D sudah selesai dan siap, selanjutnya dengan menggunakan mesin 3D *Printer* maka akan dicetak sesuai dengan desain yang sudah dibuat. Tahapan ini menggunakan mesin 3D *Printer* langsung untuk mencetaknya mulai dari model *virtual* hingga otomatis membentuk desain yang diinginkan

3. Proses *Finishing* Pencetakan

Pada tahap akhir ini, pengguna dapat menyempurnakan Kembali hasil cetakan yang sudah dibuat sebelumnya. Semisal jika model yang sudah dicetak memiliki hasil yang tidak rapi pada bagian samping maka bisa dirapihkan agar sama dan sesuai dengan desain yang sudah didesain sebelumnya.

2.2.4 Spesimen

Pada penelitian ini, akan dibuat sebuah produk dengan acuan *specimen* ASTM D-638, specimen ini dipilih dikarenakan merupakan produk yang paling optimal untuk dilakukan pengujian untuk menentukan kualitas produk yang memiliki bahan plastik seperti ABS, PLA dan PET, sehingga nantinya yang dirubah hanyalah parameter pembentuk specimen tersebut (Madhav & Narayan Yeole, n.d.). Pada uji Tarik dan uji tekan menggunakan bantuan mesin khusus yaitu Tensilon RTF Series yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian Tarik dan tekan dengan berbahan PLA (Pandaleke & Windah, 2017).Berikut merupakan tampilan dari Specimen ASTM D-638 yang digunakan sebagai acuan penelitian.



Gambar 2. 2 Spesimen ASTM D-638

2.2.5 Metode Taguchi

Menurut Wang dalam Kamaruddin dkk (2004), Metode Taguchi adalah metode yang dapat digunakan dengan proses yang sistematis dan efektif optimalisasi proses dalam desain produk dan desain proses. Secara umum metode atau pendekatan taguchi adalah metode yang berfokus pada perbaikan desain proses produksi dan desain produk (Jurusan Matematika & Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, n.d.). Selain itu, dalam metode taguchi, desain pengujian *offline* (desain tidak

langsung termasuk desain, spesifikasi, dan toleransi) dilakukan sebelum dimulainya proses manufaktur untuk meningkatkan kemampuan prosedur produk.

Metode Taguchi disebut juga sebagai *off-line quality control* yang merupakan pengendalian kualitas yang mengedepankan sistem *preventive*. Hal itu dilakukan pada saat melakukan desain produk sebelum pada produksi tingkat *shopfloor*. *Off-line Quality Control* pada produk dilakukan pada saat awal perencanaan untuk menghasilkan suatu produk yang memiliki kualitas yang baik. Berikut merupakan fungsi dari metode Taguchi yang digunakan pada perbaikan kualitas produk(Ho Chi Minh City University of Technology and Education et al., n.d.):

- *Loss Function*

  Istilah untuk fungsi kerugian yang ditanggung oleh produsen dan konsumen akibat kualitas yang dihasilkan oleh produk tersebut. Ada biaya kualitas yang tinggi bagi produsen dan kekecewaan bagi konsumen tentang produk yang dikonsumsi karena buruk atau kualitasnya buruk.

- *Orthogonal Array*

  Matriks orthogonal memiliki fungsi untuk melakukan desain percobaan yang efisien dan efektif serta digunakan untuk menganalisis data percobaan. *Orthogonal Array* atau dikenal dengan matriks orthogonal digunakan untuk menentukan berapa banyak eksperimen minimal yang dibutuhkan dalam penelitian yang berisikan faktor-faktor yang mempengaruhi parameter terpilih. Bagian dalam matrik orthogonal terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel untuk masing-masing percobaan.

- *Robustness*

  Produk yang diproduksi secara seragam dan memiliki konsistensi terhadap lingkungan yang kurang baik dan segala kondisi manufaktur yang ada. Dalam hal ini ada beberapa hal yang harus dipenuhi seperti *target performance* yaitu merupakan performansi yang memiliki target tertentu untuk mencapai suatu kualitas yang diinginkan serta seuai.

2.2.6 Langkah-Langkah Metode Taguchi

Berikut merupakan Langkah-langkah untuk melakukan penyelesaian terhadap eksperimen menggunakan metode Taguchi:

1. Tujuan dari metode Taguchi harus ditentukan terlebih dahulu untuk digunakan dalam penelitian.
2. Parameter desain harus ditentukan yang mana parameter tersebut memberikan pengaruh terhadap hal yang hendak diteliti.
3. Membuat matriks orthogonal yang mana menentukan jumlah serta ketentuan dari masing-masing eksperimen.
4. Mengetahui hubungan eksperimen penelitian yang terdapat pada matriks orthogonal yang sudah selesai dibuat untuk mengumpulkan data.
5. Melengkapi data pada analisis untuk menentukan pengaruh dari masing-masing parameter yang berbeda pada percobaan.

2.2.7 Tahap Eksperimen Metode Taguchi

Desain eksperimen metode Taguchi memiliki tiga tahapan penting yang dibutuhkan dalam eksperimen yang hendak dilakukan. Tiga tahap dari desain eksperimen adalah sebagai berikut (Soejanto, 2009) :

2.2.7.1 Tahap Perencanaan

Pada tahap perencanaan terdiri dari beberapa Langkah yang dibutuhkan, berikut merupakan langkahnya :

a. Perumusan Masalah

   Masalah yang dirumuskan harus secara spesifik sehingga dapat diteliti kedalam eksperimen yang akan dilakukan secara khusus.

b. Tujuan eksperimen

   Tujuan eksperimen dapat ditentukan sehingga dapat menjawan masalah yang sudah dirumuskan sebelumnya.

c. Penentuan Variabel Respon

   Variabel respon memiliki nilai yang disebabkan oleh faktor-faktor lain yang disebut juga sebagai variabel bebas. Variabel respon yang hendak diselidiki harus jelas karena merupakan tujuan utama dalam eksperimen.

d. Identifikasi Faktor (variabel bebas)

   Variabel bebas merupakan variabel yang memiliki perubahan yang tidak ketergantungan pada variabel yang lain. Dalam eksperimen yang dilakukan, hanya faktor-faktor tertentu yang mempengaruhi respon sehingga hal tersebut harus diteliti.

e. Penentuan jumlah dan nilai faktor

   Penentuan dan pemilihan jumlah pada level penelitian akan mempengaruhi hasil akhir dan biaya yang dikeluarkan dalam eksperimen tersebut. Semakin banyak level pada penelitian maka hasil eksperimen yang nantinya diperloleh akan semakin baik dan akurat, namun biaya yang dikeluarkan akhirnya akan semakin banyak serta besar.

f. Pemilihan matriks *Orthogonal* (*Orthogonal Array*)

   Pada penentuan dan pemilihan matriks orthogonal harus disesuaikan dengan nilai faktor dan interaksi yang diinginkan pada nilai level yang dipilih dari tiap-tiap faktor yang ada.

2.2.7.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan merupakan tahap kedua dari Langkah-langkah metode Taguchi yang memiliki 2 hal yaitu melakukan penentuan jumlah replikasi dan melakukan randominasi percobaan. Berikut merupakan penjelasannya.

1. Jumlah Replikasi

   Replikasi pada tahap pelaksanaan merupakan melakukan percobaan ulang dengan melakukan hal yang sama. Replikasi memiliki fungsi untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti, akurat pada percobaan yang sama. Kemudian dapat meminimalkan kesalahan dari penelitian yang dilakukan

2. Randomisasi

   Ada parameter lain yang tidak diinginkan dalam percobaan yang mempengaruhi hasil percobaan. Efek dari parameter ini bisa jadi diminimalkan dengan mengacak urutan percobaan (randomisasi). Pengacakan dilakukan untuk mengkompensasi efek parameter yang tidak bisa dikontrol di semua percobaan. Kesempatan yang

sama untuk dicakup dalam semua studi, sehingga efek memperlakukan parameter yang sama adalah homogen dan cenderung memperoleh hasil observasi yang independent lain. Jika tujuan replikasi adalah untuk melakukan uji signifikansi, sedangkan tujuan pengacakan adalah untuk memberikan kebenaran tes. Artinya dengan menghilangkan prasangka.

2.2.7.3 Tahap Analisis

Pada tahap analisis yang mana merupakan pengumpulan dan pengolahan data, meliputi seluruh hal yang berkaitan dengan data yang sudah diperoleh. Selanjutnya data hasil yang sudah diperoleh akan dilakukan pengolahan data. Berikut merupakan tahap pada analisis.

1. Analisis Parameter

   Analisis parameter dalam Taguchi merupakan Teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang sudah dikumpulkan melalui statistik dalam perencanaan eksperimen. Analisis ini akan menguraikan seluruh parameter yang akan diteliti. Analisis ini juga dapat dilakukan dengan dua arah yaitu penelitian memiliki dua parameter atau lebih.

2. Rasio S/N

   Tahap ini termasuk dalam pengumpulan dan pengolahan data. *Signal to Noise Ratio* merupakan salah satu dari bentuk analisisnya. Tahap ini berfungsi untuk mengetahui nilai faktor yang sudah ditentukan apakah itu berpengaruh dan optimal bagi karakteristik dari hasil eksperimen. Karakteristik kualitas pada rasio S/N terdiri dari sebagai berikut (Roy, 1990).

a. *Smaller is Better*

Smaller is better atau semakin kecil semakin baik merupakan karakteristik dengan batas nilai nol dan tidak negatif, yang mana semakin kecil nilainya maka semakin diinginkan pula nilainya.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i^2\right] \quad (2.1)$$

Dimana :

n = jumlah replikasi

y = data dari percobaan

b. *Nominal is Best*

Nominal is Best atau sesuai dengan nilai yang diinginkan merupakan karakteristik dengan nilai tidak nol dan terbatas pada nilai tertentu.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(y1-y)^2}{n}\right] \quad (2.2)$$

Dimana :

n = jumlah replikasi

y = data dari percobaan

c. *Larger is Better*

Larger is better atau semakin besar maka semakin baik adalah karakteristik dengan nilai tak terbatas dan tidak negatif, yang mana semakin besar nilai maka nilai tersebut yang diinginkan.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{(1/y_1^2)}{n}\right] \quad (2.3)$$

Dimana :

n = jumlah replikasi

y = data dari percobaan

3. Analisis Variansi dan Uji F

ANOVA atau Analisis Variansi memiliki fungsi untuk mengetahui apakah pada masing-masing parameter proses memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon atau tidak. Pengujian yang dilakukan dibuktikan dengan uji hipotesis. Pada penelitian ini, taraf signifikansi yang digunakan adalah sebesar 5% atau 0,05. Hipotesis yang digunakan pada pengujian adalah sebagai berikut.

- Hipotesis Pengujian :

  H0 : tidak terdapat pengaruh dari percobaan

  H1 : Ada pengaruh dari percobaan

- Kriteria Pengujian :

➢ Jika nilai F(hitung) < Ftabel (5%), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak memiliki signifikansi terhadap kekuatan uji Tarik spesimen, sehingga H0 diterima dan H1 ditolak.

- Jika nilai F(hitung) > Ftabel (5%), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter tersebut memiliki signifikansi terhadap kekuatan Tarik spesimen, sehingga H0 ditolak dan H1 diterima.

Pada perhitungan analisis variansi digunakan perhitungan secara manual, terdapat beberapa Langkah dan rumus yang digunakan dalam perhitungan. Berikut merupakan Langkah dan rumus perhitungan ANOVA (Roy, 1990):

1. Mencari Penjumlahan Masing-masing Faktor pada replikasi

   Penjumlahan pada replikasi pada masing-masing faktor dan level dirumuskan dengan rumus sebagai berikut.

   $$A1 = (R_{11} + R_{12} + R_{13}) \quad (2.4)$$

   Dimana :

   A1 = Faktor A, level 1 (Menyesuaikan faktor)

   Rn = Nilai data pada replikasi

2. Mencari jumlah seluruh pengamatan

   Rumus dari penjumlahan pada seluruh pengamatan adalah sebagai berikut.

   $$T = \left[\sum_{i=1}^{K} \sum_{j=1}^{n} y_{ij}\right] \quad (2.5)$$

   Dimana :

   T = Jumlah keseluruhan hasil replikasi (pengamatan)

3. Mencari *Correction Factor*

   Correction factor memiliki fungsi sebagai pengurangan pada saat menjumlahkan persamaan factor-faktor nantinya. Berikut merupalan rumus dari *correction factor*.

   $$CF = \frac{T^2}{N} \quad (2.6)$$

   Dimana :

   T = Jumlah keseluruhan replikasi

   N = Total percobaan

4. Mencari Jumlah Persamaan jumlah kuadrat faktor-faktor

   - Jumlah Kuadrat Total

   $$\mathrm{SS}T = \left[\sum_{i=1}^{K} \sum_{j=1}^{n} y_{ij^2}\right] - CF \quad (2.7)$$

- Jumlah Kuadrat Faktor N

$$SSN = \left[\sum_{i=1}^{K}\left(\frac{ni^2}{n_n}\right] - CF \quad (2.8)$$

- Jumlah Kuadrat Kesalahan (*error*)

$$SSE = SST - SSA - SSB - SSN \ldots \quad (2.9)$$

5. Mencari rata-rata (Mean) Jumlah Kuadrat Faktor

- Rata-rata Jumlah Kuadrat Faktor N

$$MSN = SSN/VN \quad (2.10)$$

Dimana :

MSN = Rata-rata jumlah kuadrat factor N

SSN = Jumlah Kuadrat Faktor N

VN = Derajat Bebas Faktor N

- Rata-rata jumlah Kuadrat Kesalahan Faktor (*error*)

MSe = SSe/Ve (2.11)

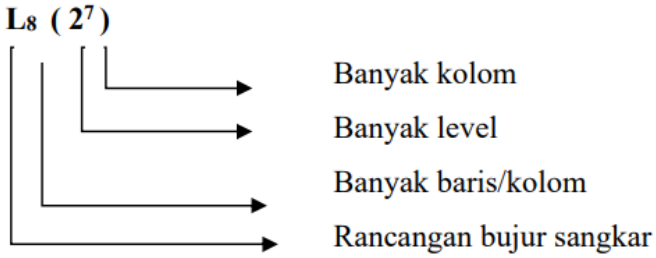
Dimana :

SSe = Jumlah Kuadrat Kesalahan (*error*)

Ve = Derajat Bebas Kesalahan (*error*) = VT-VA-VB

2.2.8 *Orthogonal Array* (OA)

Matriks eksperimen merupakan matriks yang berisikan kelompok eksperimen yang mana faktor dan level dapat ditukar sesama matriks tersebut. Faktor dan level yang disebut merupakan percobaan dan proses yang hendak diujikan pada penelitian. Dalam hal ini matriks eksperimen yang digunakan adalah bentuk matriks khusus yang disebut *orthogonal Array. Orthogonal Array* memiliki fungsi untuk menjadikan pengujian terhadap beberapa parameter dapat dilakukan secara efisien. Matriks ini terdiri dari kolom yang merupakan faktor-faktor yang berpengaruh dan baris mewakili eksperimen yang dilakukan secara individual, serta jumlah baris yang menyatakan banyaknya pengujian yang harus dilakukan. Berikut merupakan notasi matriks orthogonal.



Gambar 2. 3 Notasi Matriks Orthogonal

Menurut (Ross, 1996) Orthogonal array (OA) adalah subhimpunan percobaan yang hanya menggunakan sebagian dari kondisi total, dalam hal ini subhimpunan tersebut mungkin hanya setengah, seperempat, atau seperdelapan dari total percobaan faktorial. Keunggulan OA adalah kemampuannya untuk mengestimasi jumlah faktor dengan jumlah tes yang minimal. Berikut merupakan standar dari *Orthogonal Array* yang sering digunakan.

Tabel 2. 2 Tabel Standar Orthogonal Array

2 Level 1	3 Level 1	4 Level 1	5 Level 1	Level Gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1x3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1x4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11}x3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3x3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{64}(2^1x3^{25})$

2.2.9 *Multi Criteria Decision Making* (MCDM)

Multi Criteria Decision Making merupakan suatu pengambilan keputusan untuk mengambil alternatif terbaik dari alternatif yang ditawarkan. MCDM dibagi menjadi dua yaitu *Multi Attribute Decision Making* (MADM) dan *Multi Objective Decision Making* (MODM). Berikut merupakan tabel dari perbedaan tersebut (Jani Rahardjo et al., n.d.).

Tabel 2. 3 Perbedaan MADM dan MODM

	MADM	**MODM**
Kriteria (didefinisikan oleh)	Atribut	Tujuan
Tujuan	Implisit	Eksplisit
Atribut	Eksplisit	Implisit
Alternatif	Diskrit	Kontinu

	MADM	MODM
Kegunaan	Seleksi	Desain

Pada penelitian ini, digunakan metode menggunakan MADM yaitu metode *Multi Respon Signal to Noise* (MRSN). Berikut merupakan Langkah-langkah dalam menggunakan analisis dengan metode MRSN (Anthony, Multi-response optimization in industrial experiments using Taguchi's quality loss function and principal component analysis, 2000):

- Menghitung *Quality Loss* (L_{ij}) untuk setiap *Trial*. Karakteristik kualitas adalah sebagai berikut :

  Larger the Better

  $$L_{ij} = k\frac{1}{n_i}\sum_{k=1}^{n_i}\frac{1}{y^2 ijk} \quad (2.12)$$

  Nominal the Best

  $$L_{ij} = k\frac{1}{n_i}\sum_{k=1}^{ni}(y_{ijk} - m)^2 \quad (2.13$$

  Smaller the Better

  $$L_{ij} = k\frac{1}{n_i}\sum_{k=1}^{ni} y^2\, ijk \quad (2.14)$$

  Dimana :

  Y_{ijk} = data untuk respon ke-i, *Trial* ke-j, replikasi ke-k

  m = nilai target

  n_i = replikasi untuk respon ke-i

  k = Koefisien dari *Quality loss*

- Menentukan *Multi Respon Signal to Noise Ratio* (MRSN)

  a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon.

  b. Normalisasi *quality loss* (C_{ij}) tiap eksperimen.

  $$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i*} \quad (2.15)$$

  Dengan Li^* = Max $\{L_{i1}, L_{i2}, L_{i3},\}$

  c. Menghitung *total normalized quality loss* (TNQL) setiap eksperimen :

  $$TNQL_i = \sum_{i=1}^{m} w_i C_{ij} \quad (2.16)$$

Dengan : w_i = bobot dari normalisasi respon ke-i

Bobot diperoleh dari tingkat kepentingan relatif yang ditunjukkan oleh tabel *linguistic term*. Disebut juga dengan bilangan *fuzzy* berdasarkan tabel *crips scores of fuzzy number* berikut :

Tabel 2. 4 *Linguistic Terms USED in The Study*

No	**Scale**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
	No. of term used	***two***	***three***	***five***	***five***	***six***	***seven***	***nine***	***eleven***
1	*Extremely*								*yes*
2	*Very high*			*yes*		*yes*	*yes*	*yes*	*yes*
3	*High-Very High*							*yes*	*yes*
4	*High*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*
5	*Fairly High*				*yes*	*yes*		*yes*	
6	*Mol High*						*yes*		*yes*
7	*Medium*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*		*yes*	*yes*	*yes*
8	*Mol Low*						*yes*		*yes*
9	*Fair low*				*yes*	*yes*		*yes*	
10	*Low*		*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*	*yes*
11	*Very-Very Low*							*yes*	*yes*
12	*Very low*			*yes*		*yes*	*yes*	*yes*	*yes*
13	*None*								*yes*

Tabel 2. 5 *Linguistic Terms USED in The Study* (*Score*)

No	***Scale***	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
	No. of term used	***two***	***three***	***five***	***five***	***six***	***seven***	***nine***	***eleven***
1	*Extremely*								0.95
2	*Very high*			0.909		0.917	0.909	0.917	0.86
3	*High-Very High*							0.875	0.70
4	*High*	0.75	0.833	0.717	0.885	0.75	0.773	0.75	0.66
5	*Fairly High*				0.7	0.584		0.63	
6	*Mol High*						0.647		0.5
7	*Medium*	0.583	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5
8	*Mol Low*						0.363		0.4

No	*Scale*	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
	No. of term used	***two***	***three***	***five***	***five***	***six***	***seven***	***nine***	***eleven***
9	*Fair low*				0.3	0.416		0.37	
10	*Low*		0.166	0.281	0.115	0.25	0.227	0.25	0.33
11	*Very-Very Low*							0.125	0.29
12	*Very low*			0.091		0.083	0.091	0.083	0.13
13	*None*								0.04

d. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen

$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j)$ (2.16)

- Menentukan kombinasi level faktor yang optimal berdasarkan nilai MRSN terbesar.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek dan Lokasi Penelitian

Dalam pelaksanaannya penelitian dilakukan di tiga tempat, yaitu Laboratorium Sistem Manufaktur untuk melakukan proses pencetakan spesimen produk uji, kemudian Universitas Negeri Yogyakarta guna melakukan uji tekan serta uji tarik untuk mengetahui kualitas dari spesimen produk dan tempat terakhir adalah Universitas Gadjah Mada untuk pengambilan data terkait kekasaran permukaan. Objek penelitian yang akan diteliti adalah mesin 3D *Printing* dengan merk *Creality CR-10S Pro* dan beberapa spesimen produk yang akan diujikan. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah filamen *polylactic Acid* (PLA). PLA adalah bahan plastik cetak 3D yang merupakan bahan *biodegrable thermoplastic aliphatic polyester* yang terbuat dari tepung jagung serta tebu. Filamen PLA memiliki ukuran diameter 1,75 mm. PLA dapat dipanaskan hingga meleleh pada suhu 190^{o}C sampai 220^{o}C.

3.2 Pengumpulan Data

Tahapan ini mengumpulkan data terkait dengan masalah yang Anda terima. Penelitian didukung oleh data yang akurat untuk mencapai tujuan penelitian yang optimal. Data dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder, tergantung dari metode perolehan data penelitian. Berikut merupakan penjabarannya.

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung dengan cara melakukan observasi atau menanyakan langsung ke sumber yang dapat memberikan informasi.

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menguji produk atau specimen untuk mendapatkan data yang sesuai untuk penelitian. Berikut merupakan data yang dapat diperoleh melalui pengujian :

1. Pengujian Tarik (*Tensile*)

   Beberapa spesimen produk hasil cetak 3D akan dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui seberapa lentur produk tersebut bila ditarik menggunakan mesin uji tarik tersebut. Hasil yang akan diterima nantinya adalah berupa grafik dan tabel yang berisikan beban yang dapat diterima oleh produk jika produk tersebut ditarik
2. Pengujian Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*)

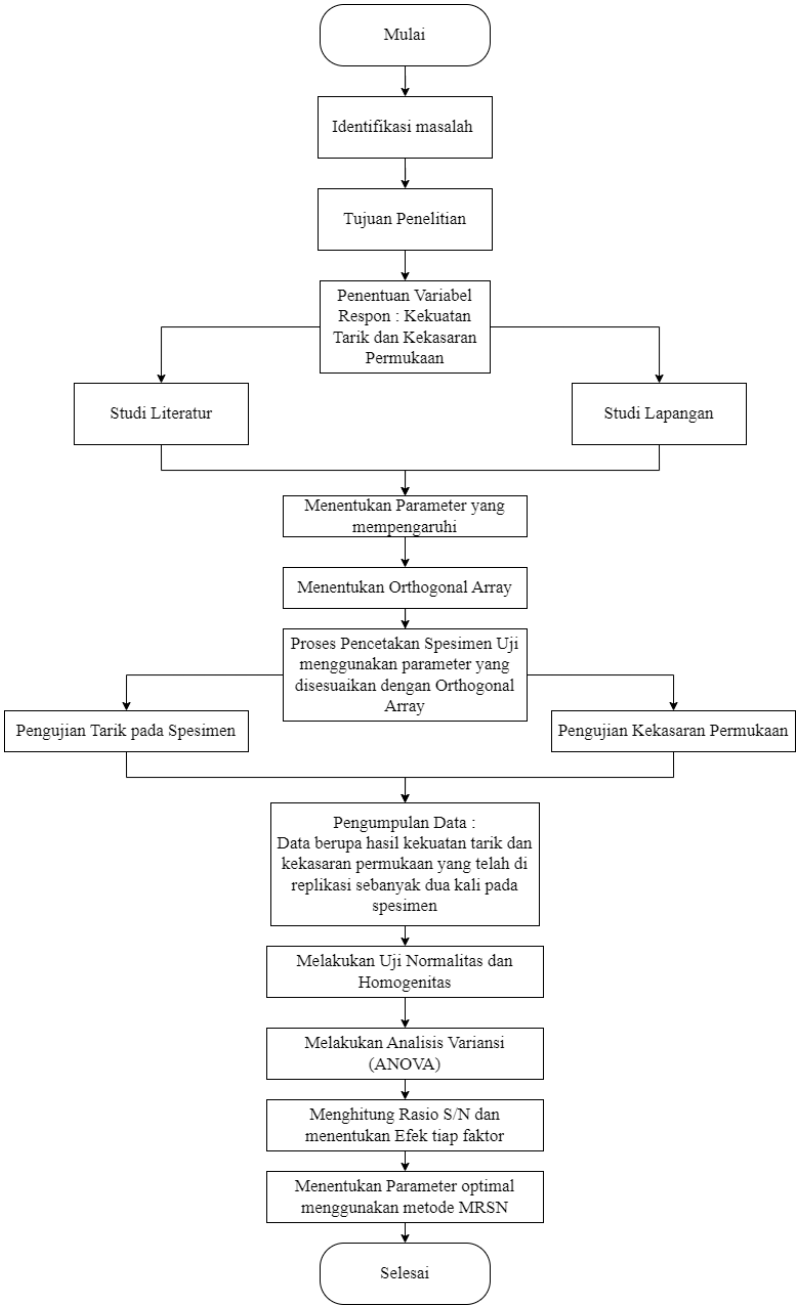
   Surface Roughness merupakan uji dimana peneliti akan memfokuskan pada permukaan hasil produk cetakan 3D. Hal ini dilakukan karena biasanya pada hasil cetakan terdapat permukaan yang kasar dan kurang baik sehingga setelah dilakukan proses pencetakan dengan parameter tertentu permukaan hasil cetak akan lebih halus dan baik.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari penelitian terdahulu yang mana penelitian tersebut sudah dilakukan sehingga menjadi acuan untuk penelitian berikutnya dengan tema yang serupa. Hal ini ditujukan untuk menjadi referensi peneliti apa yang kurang dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data penentuan parameter secara umum dari mesin 3D *Printing* yang referensinya adalah dari berbagai jurnal

3.3 Alur Penelitian

Alur penelitian digunakan untuk mengetahui Langkah-langkah yang harus dilakukan agar penelitian ini mengikuti dengan alur yang seharusnya. Penelitian ini menggunakan diagram *flowchart* dalam penentuan alurnya. Berikut merupakan diagram alir tersebut.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Keterangan diagram alir penelitian adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah

   Langkah awal pada penelitian adalah mengidentifikasi terlebih dahulu masalah yang hendak diteliti dan diselesaikan. Mengidentifikasi masalah bisa didapatkan dari literatur tertentu atau observasi. Pada penelitian ini masalah yang ditetapkan

adalah mencari parameter yang optimal pada pencetakan tiga dimensi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk.

2. Tujuan Penelitian

   Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah mencari Parameter terbaik dan optimal yang mempengaruhi kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan serta menentukan kualitas dari kedua parameter tersebut.

3. Penentuan Variabel Respon

   Variabel respon yang dipilih pada penelitian ini adalah kekuatan Tarik (*tensile*) dan kekasaran permukaan (*Surface Roughness*).

4. Studi Literatur

   Studi literatur digunakan untuk mencari referensi terdahulu terkait bagaimana Langkah dalam penelitian, perhitungan, dan analisis yang digunakan dalam penelitian.

5. Studi Lapangan

   Studi lapangan pada penelitian ini adalah dengan observasi langsung untuk melihat bagaimana proses pencetakan spesimen nantinya yaitu di Laboratorium Sistem Manufaktur, kemudian pengujian tarik yaitu bertempat di Universitas Negeri Yogyakarta dan pengujian kekasaran permukaan bertempat di Universitas Gadjah Mada.

6. Menentukan Parameter yang digunakan untuk mencetak spesimen

   Parameter yang digunakan sebagai acuan yang mempengaruhi hasil produk adalah Suhu Pencetakan (°C), *layer thickness* (mm), Bentuk *infill*, Kecepatan Print (mm/s), ukuran *nozzle*, jumlah *wall* atau shells, kepadatan *infill*.

7. Menentukan *Orthogonal Array*

   Orthogonal Array digunakan sebagai acuan parameter apa yang harus diganti levelnya pada saat pencetakan sehingga menghasilkan hasil yang berbeda-beda. *Orthogonal Array* yang digunakan adalah $L_8(2^7)$.

8. Proses Pencetakan Spesimen

Proses pencetakan spesimen dilakukan sebanyak delapan pada masing-masing uji (uji Tarik dan kekasaran permukaan) kemudian dilakukan replikasi sebanyak 2 kali.

9. Pengumpulan Data

   Spesimen yang sudah dicetak maka akan langsung diujikan kekuatan Tarik dan kekasaran permukaannya menggunakan alat-alat khusus sehingga akan muncul hasil yang nantinya akan diolah menggunakan metode yang dipilih.

10. Melakukan Uji Homogenitas dan Normalitas

    Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah hasil uji sudah berdistribusi normal atau tidak. Kemudian uji homogenitas digunakan sebelum melakukan analisis variansi.

11. Melakukan Analisis Variansi (ANOVA)

    Analisis Variansi suatu Teknik pada statistika yang digunakan untuk mengetahui apakah masing-masing faktor memiliki pengaruh terhadap variabel respon yang sudah dipilih atau tidak.

12. Menghitung Rasio S/N

    S/N Ratio merupakan suatu fungsi rumus logaritma yang digunakan untuk mengevaluasi kerugian suatu produk.

13. Menentukan Parameter yang Optimal

    Pada saat penentuan efek tiap faktor bila parameter dari kedua variabel respon berbeda, maka akan digunakan L_{64} pada *orthogonal array* sehingga untuk hasil ujinya menggunakan ramalan regresi linear berganda. Kemudian metode yang digunakan untuk mencari parameter yang optimal adalah *Multi Response Signal to Noise* (MRSN).

14. Kesimpulan

    Setelah mendapatkan parameter yang optimal kemudian akan dianalisis dan dibuat kesimpulan dari penelitian yang sudah dilaksanakan.

3.4 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian meliputi menyiapkan peralatan yang digunakan dalam penelitian yang digunakan dalam proses pencetakan hingga proses pengujian.

3.4.1 Peralatan Penelitian

1. Mesin 3D *Printing*

   Dalam melakukan pencetakan, mesin 3D *Printing* yang digunakan oleh peneliti memiliki jenis FDM (*Fused Deposition Modeling*) dengan merk *Creality CR-10S Pro* dengan *Printing* area 300 mm x 300 mm. Ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 3. 2 Creality CR-10S Pro

2. Laptop

   Laptop digunakan untuk menjalankan *software slicer* dan *software* untuk analisis perhitungan.

3. Alat uji Tarik

   Alat ini digunakan untuk mengukur kekuatan atau kelenturan dari *filament* yang digunakan Ketika specimen ditarik menggunakan alat tersebut. Alat yang digunakan adalah Tensilon RTF Series. Ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 3. 3 Tensilon RTF Series

4. Alat uji kekasaran permukaan

   Alat ini digunakan untuk mengukur seberapa kasar permukaan dari specimen yang diujikan. Alat yang digunakan adalah Starret SR 3000. Ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 3. 4 Starret SR 3000

5. Software Slicer Ultimaker Cura 4.11

   Software ini digunakan untuk memasukkan parameter yang sesuai dengan penelitian dan melakukan *convert* file menjadi *G-Code* untuk menjalankan mesin 3D *Printing*.

6. Software Perhitungan dan Analisis

   Software ini digunakan untuk membantu peneliti dalam melakukan perhitungan seperti peralaman, uji normalitas, dan uji homogenitas. *Software* yang digunakan adalah SPSS.

3.5 Rancangan percobaan

Rancangan percobaan dari penelitian ini dilakukan dari menentukan parameter apa saja yang akan digunakan sebagai acuan pengujian.

3.5.1 Parameter Respon

Parameter respon atau variabel respon merupakan parameter yang dipengaruhi oleh variabel proses pada saat percobaan. Parameter respon yang diteliti dalam penelitian ini adalah uji kekuatan Tarik (*tensile*) dari spesimen ASTM yang sudah dicetak dengan satuan Mpa (Megapascal) dan kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) yang memiliki satuan mikrometer. Uji kekuatan Tarik dipilih menjadi variabel respon dikarenakan untuk mengetahui seberapa kuat spesimen yang hendak diujikan pada saat ditarik, kemudian untuk kekasaran permukaan dipilih sebagai variabel respon untuk menghasilkan permukaan yang baik yang mana dapat menambah kualitas estetika dan sebagai evaluasi di akhir.

3.5.2 Parameter Proses

Parameter proses yang digunakan dalam penelitian sebagai acuan dalam mencetak spesimen adalah *layer thickness* (mm), suhu pencetakan (^{o}C), Jumlah *shell/wall*, bentuk *infill*, kepadatan *infill* (%), kecepatan pencetakan (mm/s) dan ukuran diameter *nozzle* (mm). Pemilihan parameter proses yang berupa faktor dan level eksperimen berdasarkan studi Pustaka dan peneliti menentukan sebanyak tujuh faktor dikarenakan ingin mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi dari kualitas kekuatan Tarik serta kekasaran permukaan, yang mana semakin banyak faktor yang dipilih maka hasil akan semakin akurat. Penelitian ini menggunakan desain Taguchi L_8 (2^7) Ortogonal Array

dengan tujuh faktor dan dua level. Nilai parameter dan level yang telah ditetapkan dan ditunjukan pada tabel berikut.

Tabel 3. 1 Penentuan Faktor dan Level Parameter

Faktor	Parameter	Level		Dasar Penentuan
		1	2	
A	*Layer Thickness*	0,2	0,4	(Fadhil Alani et al., 2008)
B	Suhu Pencetakan	190	220	Suhu optimal pada PLA agar meleleh (Tertulis pada PLA yang digunakan)
C	Jumlah *Shell/wall*	2	4	(Nugroho & Mahardika, 2019)
D	Bentuk *Infill*	Cubic	Hexagonal	(Pandzic et al., 2019)
E	Kepadatan *Infill*	20	80	
F	Kecepatan Pencetakan	30	80	(Miazio, 2019)
G	*Nozzle Diameter*	0,2	0,4	Kecocokan nozzle pada mesin 3D *Printer* yang digunakan

3.6 Pemilihan Matriks Orthogonal

Berdasarkan jumlah parameter proses dan jumlah level yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1. Sehingga dapat menentukan matriks orthogonal yang digunakan. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi L_8 *Orthogonal Array* (OA) dengan 7 parameter dan 2 level serta 8 kali percobaan seperti pada gambar dibawah.

Tabel 3. 2 *Matriks Orthogonal* yang digunakan

Trial	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2

Trial	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Berdasarkan Tabel diatas huruf A, B, C, dan D serta angka 1 (satu), 2 (dua) dan 3 (tiga) pada akan diubah menjadi parameter proses dan nilai level berdasarkan Tabel 3.2. Kemudian dilakukan eksperimen berdasarkan Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 *Score* pada level dan faktor Parameter

Trial	***Layer Thickness* (mm)**	***Extruder Temp* (˚C)**	***Number Shells***	***Infill Pattern***	***Infill Density* (%)**	***Print Speed* (mm/s)**	***Nozzle Diameter* (mm)**
Trial 1	0,2	190	2	*Cubic*	20	30	0,2
Trial 2	0,2	190	2	*Hexagonal*	80	80	0,4
Trial 3	0,2	220	4	*Cubic*	20	80	0,4
Trial 4	0,2	220	4	*Hexagonal*	80	30	0,2
Trial 5	0,4	190	4	*Cubic*	80	30	0,4
Trial 6	0,4	190	4	*Hexagonal*	20	80	0,2
Trial 7	0,4	220	2	*Cubic*	80	80	0,2
Trial 8	0,4	220	2	*Hexagonal*	20	30	0,4

3.7 Proses Percobaan

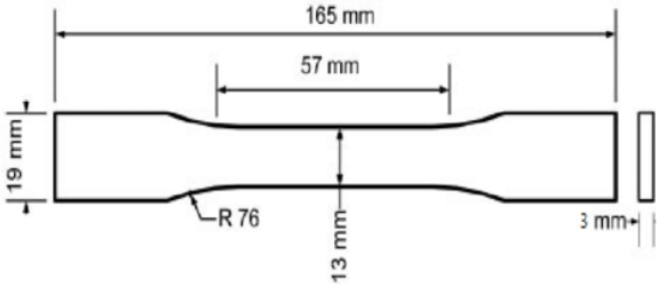
Proses percobaan dilakukan mulai dari persiapan penelitian kemudian dilanjutkan dengan pengujian dan terakhir akan didapatkan data dari pengujian tersebut.

3.7.1 Persiapan Penelitian

Pada tahapan persiapan berurutan dimulai dengan melakukan persiapan mesin 3D *Printing*, menyiapkan bahan filamen PLA, *software Ultimaker Cura* 4.11, serta kelengkapan yang menunjang dalam penelitian.

3.7.2 Desain Spesimen

Pada tahap ini, penelitian menggunakan desain bentuk specimen khusus uji Tarik yaitu ATSM D-638 tipe IV.



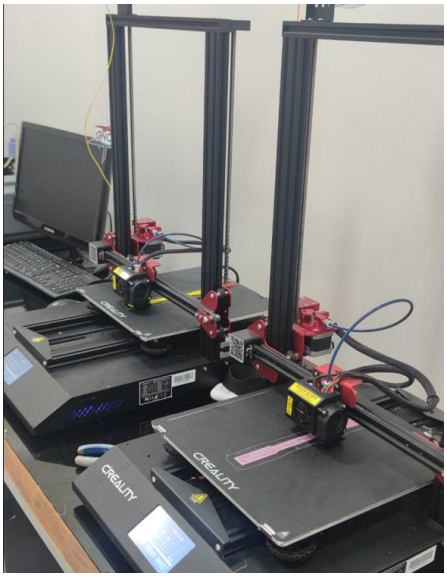
Gambar 3. 5 ASTM D-638

3.7.3 *Slicing* Data CAD

Setelah membuat desain spesimen yang akan dicetak sebelumnya file harus diolah menggunakan *software slicing* (*Ultimaker Cura* 4.11), yang mana tujuannya adalah untuk memasukkan parameter serta melakukan konversi *file* menjadi *G-Code* untuk diproses di mesin 3D *Printing*.

3.7.4 Pencetakan Spesimen

Setelah desain dari spesimen selesai dibuatm akan dilakukan pencetakan spesimen uji Tarik dan kekasaran permukaan menggunakan mesin 3D *Printing*. Ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. 6 Proses Pencetakan Spesimen

3.7.5 Melakukan Uji Tarik

Setelah seluruh proses pencetakan spesimen selesai, maka tahap berikutnya adalah dengan melakukan pengujian kekuatan Tarik untuk mengukur tingkat tekanan kekuatan material filamen PLA yang digunakan. Pengujian kekuatan Tarik yang dilakukan dengan menggunakan cara yaitu benda uji (spesimen) dijepit pada mesin uji dengan melakukan pembebanan tarikan secara perlahan yang makin lama makin meningkat pada suatu tekanan tertentu hingga spesimen tersebut patah. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 3. 7 Proses Uji kekuatan Tarik

3.7.6 Melakukan Uji Kekasaran Permukaan

Tahap ini akan membutuhkan spesimen lain yang digunakan untuk menguji kekasaran permukaan. Spesimen yang akan diujikan menggunakan alat khusus agar peneliti mengetahui berapa besaran dari kekasaran permukaan spesimen tersebut.

3.8 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan pengujian data dilakukan di dua tempat yaitu Universitas Negeri Yogyakarta dan Universitas Gadjah Mada. Di Universitas Negeri Yogyakarta melakukan pengambilan data dengan menggunakan uji Tarik. Kemudian di Universitas Gadjah Mada melakukan pengambilan data dengan menguji kekasaran permukaan. Data-data tersebut akan dicatat dan diolah pada pengolahan data.

3.9 Metode Analisis Pengolahan Data

Dalam penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Analisis Varian Desain Eksperimen Taguchi
2. Analisis Varian ANOVA Dua Arah
3. Menghitung Rasio S/N Parameter Respon
4. Menentukan Parameter Respon yang Optimal.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan dan pengumpulan data pada penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan kombinasi parameter-parameter proses yang sudah ditentukan pada mesin 3D *Printing*. Adapun parameter-parameter proses yang dianggap berpengaruh terhadap respon kekuatan Tarik serta kekasaran permukaan yaitu *layer thickness* (mm), suhu pencetakan (^{o}C), Jumlah *shell/wall*, bentuk *infill*, kepadatan *infill* (%), kecepatan pencetakan (mm/s) dan ukuran diameter *nozzle* (mm). Tabel berikut menunjukkan hasil uji tarik berdasarkan Taguchi L_8 OA. Pada tahap ini, setelah memiliki data hasil pengujian, data tersebut diolah untuk memperoleh parameter yang optimal serta berpengaruh terhadap kekuatan Tarik.

Tabel 4. 1 Hasil data pengujian kekuatan tarik

***Trial* No**	**Uji tarik**		**Rata-Rata**
	Replikasi 1 (Mpa)	**Replikasi 2 (Mpa)**	
Trial 1	16.86	17.086	16.973
Trial 2	28.094	28.418	28.256
Trial 3	26.509	27.357	26.933
Trial 4	18.413	23.561	20.987
Trial 5	36.679	38.679	37.679
Trial 6	37.473	34.152	35.8125
Trial 7	28.847	31.089	29.968
Trial 8	37.291	40.193	38.742

Melanjutkan uji diatas berikut merupakan data hasil uji kekasaran permukaan yang sudah dilaksanakan.

Tabel 4. 2 Hasil data pengujian kekasaran permukaan

***Trial* No**	***Surface Roughness***		**Rata-rata**
	Ra1 (µm)	**Ra2 (µm)**	
Trial 1	18.73	22.13	20.43
Trial 2	7	8.97	7.985
Trial 3	10.77	9.2	9.985
Trial 4	8.37	7.8	8.085
Trial 5	13.73	15.07	14.4
Trial 6	9.17	10.5	9.835
Trial 7	5.63	8.3	6.965
Trial 8	9.87	11.7	10.785

4.2 Melakukan Pengujian Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA

4.2.1 Uji Normalitas

Uji Normalitas adalah sebuah uji yang dilakukan dengan tujuan untuk menilai sebaran data pada sebuah kelompok data atau variabel, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Pada uji ini digunakan *software* penguji yaitu SPSS untuk mengetahui apakah data yang sudah didapatkan berdistribusi normal atau tidak. Berikut merupakan hasil pengujian dari data uji Tarik.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		8
Normal Parameters[a,b]	Mean	.0000000
	Std. Deviation	2.32388302
Most Extreme Differences	Absolute	.159
	Positive	.114
	Negative	-.159
Test Statistic		.159
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200[c,d]

a. Test distribution is Normal.

Gambar 4. 1 Hasil Uji Normalitas Uji Kekuatan Tarik

Berikut merupakan hasil uji normalitas dari data uji kekasaran permukaan.

NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		8
Normal Parameters[a,b]	Mean	.0000000
	Std. Deviation	1.59057200
Most Extreme Differences	Absolute	.183
	Positive	.127
	Negative	-.183
Test Statistic		.183
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200[c,d]

a. Test distribution is Normal.

Gambar 4. 2 Hasil Uji Normalitas Kekasaran Permukaan

4.2.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui sama atau tidaknya variansi-variansi atau factor yang terdiri dari dua atau lebih. Pada uji homogenitas juga digunakan *software* SPSS sebagai alat bantunya. Berikut merupakan hasil uji *software* uji tarik.

Test of Homogeneity of Variances

Replikasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.023	1	14	.881

Gambar 4. 3 Uji Homogenitas kekuatan tarik

Dari hasil pengujian homogenitas uji Tarik diatas, didapatkan hasil bahwa data yang sudah diambil dan didapatkan bersifat homogen. Hal ini karena nilai signifikansi > 0,05, yaitu 0,881 > 0,05 sehingga data tersebut bersifat homogen. Kemudian dihitung pula untuk uji homogenitas pada data kekasaran permukaan.

Test of Homogeneity of Variances

Replikasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.096	1	14	.762

Gambar 4. 4 Uji Homogenitas uji kekasaran permukaan

Dari hasil pengujian homogenitas kekasaran permukaan diatas, didapatkan hasil bahwa data yang sudah diambil dan didapatkan bersifat homogen. Hal ini karena nilai signifikansi > 0,05, yaitu 0,762 > 0,05 sehingga data tersebut bersifat homogen.

4.2.3 Uji Anova

Uji ANOVA digunakan untuk memecahkan total variasi eksperimen kedalam sumber-sumber variasi didekomposisi kedalam komponen-komponen pembentuknya berupa faktor utama dan atau interaksi antar faktor. Berikut merupakan perhitungan ANOVA untuk data pengujian Tarik.

1. **Pengujian Tarik**

   Berikut merupakan tabel Faktor dan replikasi dari uji Tarik.

Tabel 4. 3 Faktor dan Replikasi uji kekuatan tarik

Trial	**Faktor**							**Replikasi**	
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**1**	**2**
Trial 1	1	1	1	1	1	1	1	16.86	17.086
Trial 2	1	1	1	2	2	2	2	28.094	28.418
Trial 3	1	2	2	1	1	2	2	26.509	27.357
Trial 4	1	2	2	2	2	1	1	18.413	23.561
Trial 5	2	1	2	1	2	1	2	36.679	38.679
Trial 6	2	1	2	2	1	2	1	37.473	34.152
Trial 7	2	2	1	1	2	2	1	28.847	31.089
Trial 8	2	2	1	2	1	1	2	37.291	40.193

- Mencari Penjumlahan masing-masing factor

  Berikut merupakan contoh rumus perhitungan berdasarkan rumus (2.4)

  $A1 = (16{,}86 + 17{,}086 + 28{,}094 + 28{,}418 + 26{,}509 + 27{,}357 + 18{,}413 + 23{,}561) = 186{,}298$

  $A2 = (36{,}679 + 38{,}679 + 37{,}473 + 34{,}152 + 28{,}847 + 31{,}089 + 37{,}291 + 40{,}193) = 284{,}403$

  Berikut merupakan tabel rangkuman hasil penjumlahan faktor dengan rumus yang sama:

Tabel 4. 4Tabel rangkuman hasil penjumlahan faktor Pengujian Tarik

Faktor	Hasil
A1	186.298
A2	284.403
B1	237.441
B2	233.26
C1	277.878
C2	242.823
D1	223.106
D2	247.595
E1	236.921
E2	233.78
F1	228.762
F2	241.939
G1	207.481
G2	263.22

- Mencari jumlah seluruh pengamatan

  $T = (16{,}86 + 17{,}086 + 28{,}094 + 28{,}418 + 26{,}509 + 27{,}357 + 18{,}413 + 23{,}561 + 36{,}679 + 38{,}679 + 37{,}473 + 34{,}152 + 28{,}847 + 31{,}089 + 37{,}291 + 40{,}193) = 470{,}701$

- Mencari *Correction Factor*

  $CF = \frac{T^2}{N} = \frac{(470{,}701)^2}{16} = 13.847{,}464$

  Mencari Jumlah Persamaan faktor-faktor

  $SST = \left(16{,}86^2 + 17{,}086^2 + 28{,}094^2 + 28{,}418^2 + 26{,}509^2 + 27{,}357^2 + 18{,}413^2 + 23{,}561^2 + 36{,}679^2 + 38{,}679^2 + 37{,}473^2 + 34{,}152^2 + 28{,}847^2 + 31{,}089^2 + 37{,}291^2 + 40{,}193^2\right) - 13.847{,}464 = 887{,}644$

  $SSA = \left(\frac{186{,}298^2}{8} + \frac{284{,}403^2}{8}\right) - 13.847{,}464 = 601{,}537$

$$SSB = \left(\frac{237{,}441^{\ 2}}{8} + \frac{233{,}26^{\ 2}}{8}\right) - \ 13.847{,}464 = 1{,}093$$

$$SSC = \left(\frac{277{,}878^{\ 2}}{8} + \frac{242{,}823^{2}}{8}\right) - \ 13.847{,}464 = 13{,}959$$

$$SSD = \left(\frac{223{,}106^{\ 2}}{8} + \frac{247{,}595^{2}}{8}\right) - \ 13.847{,}464 = 37{,}481$$

$$SSE = \left(\frac{236{,}9218^{2}}{8} + \frac{233{,}78^{2}}{8}\right) - \ 13.847{,}464 = 0{,}617$$

$$SSF = \left(\frac{228{,}762^{2}}{8} + \frac{241{,}939^{2}}{8}\right) - \ 13.847{,}464 = 10{,}852$$

$$SSG = \left(\frac{207{,}481^{\ 2}}{8} + \frac{263{,}22^{\ 2}}{8}\right) - \ 13.847{,}464 = 194{,}177$$

$$SS_{Error} = \ 887{,}644 - 601{,}537 - 1{,}093 - 13{,}959 - 37{,}481 - 0{,}617 - 10{,}852 - 194{,}177 = 27{,}92$$

- Mencari rata-rata (Mean) Jumlah Kuadrat Faktor

$$MSA = \frac{SSA}{VA} = \frac{601{,}537}{1} = 601{,}537$$

$$MSB = \frac{SSB}{VB} = \frac{1{,}093}{1} = 1{,}093$$

$$MSC = \frac{SSC}{VC} = \frac{13{,}959}{1} = 13{,}959$$

$$MSD = \frac{SSD}{VD} = \frac{37{,}481}{1} = 37{,}481$$

$$MSE = \frac{SSE}{VE} = \frac{0{,}617}{1} = 0{,}617$$

$$MSF = \frac{SSF}{VF} = \frac{10{,}852}{1} = 10{,}852$$

$$MSG = \frac{SSG}{VG} = \frac{194{,}177}{1} = 194{,}177$$

$$Ve = 15 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 = 8$$

$$MS_{ERROR} = \frac{27{,}92}{8} = 3{,}5$$

Berikut merupakan tabel akhir dari ANOVA pengujian Tarik :

Tabel 4. 5 Hasil akhir ANOVA uji tarik

Sumber Variasi	**Derajat Bebas**	***Sum of Squares***	***Mean Square***	**Fhitung**	**Ftabel**	**Keputusan**
Faktor A	1	601.5369	601.536	172.316122	5.32	H1 Diterima
Faktor B	1	1.092548	1.09254	0.3129709	5.32	H0 Diterima

Sumber Variasi	Derajat Bebas	*Sum of Squares*	*Mean Square*	Fhitung	Ftabel	Keputusan
Faktor C	1	13.95956	13.9595	3.99885325	5.32	H0 Diterima
Faktor D	1	37.48195	37.4819	10.7370687	5.32	H1 Diterima
Faktor E	1	0.616618	0.61661	0.17663611	5.32	H0 Diterima
Faktor F	1	10.85208	10.8520	3.10868501	5.32	H0 Diterima
Faktor G	1	194.1773	194.177	55.6239689	5.32	H1 Diterima
Residual	8	27.92713	3.490891813			
Total	15	887.6441	863.2078457			

Kesimpulan : Karena nilai Fhitung lebih besar dibandingkan dengan nilai Ftabel maka H1 diterima, artinya terdapat signifikansi pada parameter yaitu ketebalan lapisan, *infill pattern*, dan diameter *nozzle*.

2. Pengujian Kekasaran Permukaan

Berikut merupakan tabel Faktor dan replikasi dari uji kekasaran permukaan.

Tabel 4. 6 Faktor dan Replikasi uji kekasaran permukaan

Trial	Faktor							Replikasi	
	A	B	C	D	E	F	G	1	2
Trial 1	1	1	1	1	1	1	1	18.73	22.13
Trial 2	1	1	1	2	2	2	2	7	8.97
Trial 3	1	2	2	1	1	2	2	10.77	9.2
Trial 4	1	2	2	2	2	1	1	8.37	7.8
Trial 5	2	1	2	1	2	1	2	13.73	15.07
Trial 6	2	1	2	2	1	2	1	9.17	10.5
Trial 7	2	2	1	1	2	2	1	5.63	8.3
Trial 8	2	2	1	2	1	1	2	9.87	11.7

- Mencari Penjumlahan masing-masing factor

  Berikut merupakan perhitungan berdasarkan rumus (2.4)

  $A1 = (18{,}73 + 22{,}13 + 7 + 8{,}97 + 10{,}77 + 9{,}2 + 8{,}37 + 7{,}8) = 92{,}97$

  $A2 = (13{,}73 + 15{,}07 + 9{,}17 + 10{,}5 + 5{,}63 + 8{,}3 + 9{,}87 + 11{,}7) = 83{,}97$

Menggunakan rumus yang sama, berikut merupakan tabel rangkuman hasil penjumlahan factor :

Tabel 4. 7 tabel rangkuman hasil penjumlahan factor Kekasaran Permukaan

Faktor	Hasil
A1	92.97
A2	83.97
B1	105.3
B2	71.64
C1	92.33
C2	84.61
D1	103.56
D2	73.38
E1	102.07
E2	74.87
F1	107.4
F2	69.54
G1	90.63
G2	86.31

- Mencari jumlah seluruh pengamatan

  $T = (18{,}73 + 22{,}13 + 7 + 8{,}97 + 10{,}77 + 9{,}2 + 8{,}37 + 7{,}8 + 13{,}73 + 15{,}07 + 9{,}17 + 10{,}5 + 5{,}63 + 8{,}3 + 9{,}87 + 11{,}7) = 176{,}94$

- Mencari *Correction Factor*

  $CF = \frac{T^2}{N} = \frac{(176{,}94)^2}{16} = 1956{,}735$

- Mencari Jumlah Persamaan faktor-faktor

  $SST = \left(18{,}73^2 + 22{,}13^2 + 7^2 + 8{,}97^2 + 10{,}77^2 + 9{,}2^2 + 8{,}37^2 + 7{,}8^2 + 13{,}73^2 + 15{,}07^2 + 9{,}17^2 + 10{,}5^2 + 5{,}63^2 + 8{,}3^2 + 9{,}87^2 + 11{,}7^2\right) - 1956{,}735 = 289{,}655$

  $SSA = \left(\frac{92{,}97^2}{8} + \frac{83{,}97^2}{8}\right) - 1956{,}735 = 5{,}06$

$$SSB = \left(\frac{105{,}3\ ^2}{8} + \frac{71{,}64\ ^2}{8}\right) - \ 1956{,}735 = 70{,}812$$

$$SSC = \left(\frac{92{,}33\ ^2}{8} + \frac{84{,}61^2}{8}\right) - \ 1956{,}735 = 3{,}724$$

$$SSD = \left(\frac{103{,}56\ ^2}{8} + \frac{73{,}38^2}{8}\right) - \ 1956{,}735 = 56{,}927$$

$$SSE = \left(\frac{102{,}07^2}{8} + \frac{74{,}87^2}{8}\right) - \ 1956{,}735 = 46{,}24$$

$$SSF = \left(\frac{107{,}4^2}{8} + \frac{69{,}54^2}{8}\right) - \ 1956{,}735 = 89{,}586$$

$$SSG = \left(\frac{90{,}63\ ^2}{8} + \frac{86{,}31^2}{8}\right) - \ 1956{,}735 = 1{,}166$$

$$SS_{Error} = \ 289{,}655 \ - 5{,}06 - 70{,}812 - 3{,}724 - 56{,}927 \ - 46{,}24 - 89{,}586 - 1{,}166 = 16{,}136$$

- Mencari rata-rata (*Mean*) Jumlah Kuadrat Faktor

$$MSA = \frac{SSA}{VA} = \frac{5{,}06}{1} = 5{,}06$$

$$MSB = \frac{SSB}{VB} = \frac{70{,}812}{1} = 70{,}812$$

$$MSC = \frac{SSC}{VC} = \frac{3{,}724}{1} = 3{,}724$$

$$MSD = \frac{SSD}{VD} = \frac{56{,}927}{1} = 56{,}927$$

$$MSE = \frac{SSE}{VE} = \frac{46{,}24}{1} = 46{,}24$$

$$MSF = \frac{SSF}{VF} = \frac{89{,}586}{1} = 89{,}586$$

$$MSG = \frac{SSG}{VG} = \frac{1{,}166}{1} = 1{,}166$$

$$Ve = 15 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 = 8$$

$$MS_{ERROR} = \frac{16{,}13}{8} = 2{,}017$$

Berikut merupakan rangkuman tabel ANOVA dari pengujian kekasaran permukaan.

Tabel 4. 8 Hasil Akhir ANOVA uji kekasaran permukaan

Sumber Variasi	**Derajat Bebas**	***Sum of Squares***	***Mean Square***	**Fhitung**	**Ftabel**	**Keputusan**
Faktor A	1	5.0625	5.0625	2.50983795	5.32	H0 Diterima

Sumber Variasi	Derajat Bebas	*Sum of Squares*	*Mean Square*	Fhitung	Ftabel	Keputusan
Faktor B	1	70.812225	70.812	35.1066092	5.32	H1 Diterima
Faktor C	1	3.7249	3.7249	1.84669538	5.32	H0 Diterima
Faktor D	1	56.927025	56.927	28.2227373	5.32	H1 Diterima
Faktor E	1	46.24	46.24	22.924426	5.32	H1 Diterima
Faktor F	1	89.586225	89.586	44.4142038	5.32	H1 Diterima
Faktor G	1	1.1664	1.1664	0.57826666	5.32	H0 Diterima
Residual	8	16.1365	2.0171			
Total	15	289.655775	275.54			

Kesimpulan : Karena nilai Fhitung lebih besar dibandingkan dengan nilai Ftabel maka H1 diterima, artinya terdapat signifikansi pada parameter yaitu suhu pencetakan, bentuk *infill*, kepadatan *infill*, dan kecepatan pencetakan.

4.3 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon

Perhitungan rasio S/N merupakan rancangan yang digunakan untuk memilih faktor yang berkontribusi terhadap pengurangan respon kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan yang mentransformasikan data ke dalam suatu nilai ukuran variasi yang timbul. Nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon.

4.3.1 Pengujian Rasio S/N Kekuatan Tarik

Perhitungan rasio S/N pada penelitian ini digunakan untuk respon kekuatan tarik dengan karakteristik kualitas semakin besar, semakin baik (*Larger is Better*). Berikut merupakan rumusnya berdasarkan rumus (2.1).

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum \frac{n}{i=1} \frac{(1/y_i^2}{n} \right]$$

Karakteristik kualitas yang menjadi tujuan perbaikan adalah memaksimalkan parameter untuk kuat Tarik pada produk specimen. Sehingga dengan replikasi sebanyak 2 kali, maka perhitungan contoh rasio S/N dapat dilihat di bawah ini :

Pada percobaan ke-1 :

$$S/N = -10\log\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{16{,}86^2}+\frac{1}{17{,}086^2}\right)\right] = 24{,}6$$

Pada percobaan ke-2 :

$$S/N = -10\log\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{28{,}094^2}+\frac{1}{28{,}418^2}\right)\right] = 29{,}021$$

Hasil perhitungan rasio S/N pengujian tarik dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Rasio S/N Kekuatan Tarik

Trial	**Faktor**							**Replikasi**		**S/N**
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**1**	**2**	
Trial 1	1	1	1	1	1	1	1	16.86	17.086	24.6
Trial 2	1	1	1	2	2	2	2	28.094	28.418	29.021
Trial 3	1	2	2	1	1	2	2	26.509	27.357	28.602
Trial 4	1	2	2	2	2	1	1	18.413	23.561	26.24
Trial 5	2	1	2	1	2	1	2	36.679	38.679	31.51
Trial 6	2	1	2	2	1	2	1	37.473	34.152	31.052
Trial 7	2	2	1	1	2	2	1	28.847	31.089	29.51
Trial 8	2	2	1	2	1	1	2	37.291	40.193	31.74

4.3.2 Pengujian Rasio S/N Kekasaran Permukaan

Perhitungan rasio S/N pada penelitian ini juga digunakan untuk respon kekasaran permukaan dengan karakteristik kualitas semakin kecil maka semakin baik (*Smaller is better*) Berikut merupakan rumusnya berdasarkan rumus (2.3).

$$S/N = -10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right]$$

Sehingga sama dengan pengujian kuat Tarik sebelumnya, replikasi dilakukan sebanyak dua kali, berikut merupakan contoh perhitungan percobaannya.

Pada percobaan ke-1 :

$$S/N = -10\log\left[\frac{1}{2}\left(18{,}73^2+22{,}13^2\right)\right] = -26{,}235$$

Pada percobaan ke-2 :

$$S/N = -10\log\left[\frac{1}{2}\left(7^2+8{,}97^2\right)\right] = -18{,}11$$

Hasil perhitungan rasio S/N pengujian kekasaran permukaan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Rasio S/N Kekasaran permukaan

Trial	Faktor							Replikasi		S/N
	A	B	C	D	E	F	G	1	2	
Trial 1	1	1	1	1	1	1	1	18.73	22.13	-26,235
Trial 2	1	1	1	2	2	2	2	7	8.97	-18.11
Trial 3	1	2	2	1	1	2	2	10.77	9.2	-20.01
Trial 4	1	2	2	2	2	1	1	8.37	7.8	-18.15
Trial 5	2	1	2	1	2	1	2	13.73	15.07	-23.176
Trial 6	2	1	2	2	1	2	1	9.17	10.5	-19.875
Trial 7	2	2	1	1	2	2	1	5.63	8.3	-17.015
Trial 8	2	2	1	2	1	1	2	9.87	11.7	-20.687

4.4 Penentuan Efek Tiap Faktor

Penentuan efek tiap faktor bertujuan untuk menentukan tingkat kepentingan masing-masing faktor dari yang paling tinggi hingga yang paling rendah. Sehingga dengan diketahuinya tingkat urutan tersebut, peneliti dapat mengetahui parameter yang cocok pada pengujian yang dilakukan.

4.4.1 Penentuan Efek Tiap Faktor Pada Pengujian Tarik

Berikut merupakan tabel penentuan efek tiap factor pada pengujian Tarik berdasarkan tabel S/N sebelumnya.

Tabel 4. 11 Penentuan Efek tiap faktor uji kekuatan tarik

Faktor	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	27.1158	29.0458	28.71775	28.5555	28.9985	28.5225	27.8505
Level 2	30.953	29.023	29.351	29.51325	29.0703	29.54625	30.2183
Selisih	3.83725	0.02275	0.63325	0.95775	0.07175	1.02375	2.36775
Optimal	A2	B1	C1	D2	E2	F2	G2
Ranking	1	7	5	4	6	3	2

Berdasarkan tabel penentuan efek tiap faktornya dapat disimpulkan bahwa Faktor A atau *layer thickness* memiliki peringkat 1 sehingga sangat mempengaruhi dari pengujian Tarik yang sudah dilakukan.

4.4.2 Penentuan Efek Tiap Faktor Pada Pengujian Kekasaran Permukaan

Berikut merupakan tabel penentuan efek tiap factor pada pengujian kekasaran permukaan berdasarkan tabel S/N sebelumnya.

Tabel 4. 12 Penentuan efek tiap faktor uji kekasaran permukaan

Faktor	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	-20.626	-21.849	-20.51	-21.609	-21.702	-22.062	-20.319
Level 2	-20.188	-18.9655	-20.3	-19.2055	-19.113	-18.7525	-20.496
Selisih	0.438	2.8835	0.209	2.4035	2.589	3.3095	0.177
Optimal	A2	B2	C1	D2	E2	F2	G2
Ranking	5	2	6	4	3	1	7

Berdasarkan tabel penentuan efek tiap factor diatas dapat disimpulkan bahwa Faktor F atau kecepatan pencetakan memiliki peringkat 1 sehingga sangat mempengaruhi dari pengujian kekasaran permukaan yang sudah dilakukan. Kemudian karena hasil dari kedua efek tiap faktor berbeda maka perlu adanya analisis terhadap 2^6= 64 alternatif ditambah kombinassi dengan 4 kombinasi selain C1 yaitu C2, sehingga berikut merupakan tabel dari tambahan analisis tersebut.

Tabel 4. 13 Tabel 1/64

			A1								**A2**							
			B1				**B2**				**B1**				**B2**			
			C1		**C2**		**C1**		**C2**		**C1**		**C2**		**C1**		**C2**	
			D1	**D2**	**D1**	**D2**	**D1**	**D2**	**D1**	**D2**	**D1**	**D2**	**D1**	**D2**	**D1**	**D2**	**D1**	**D2**
E1	**F1**	**G1**	1	2			17	18			33	34			49	50		
		G2	3	4			19	20			35	36			51	52		
	F2	**G1**	5	6			21	22			37	38	68		53	54		
		G2	7	8			23	24	65		39	40			55	56		
E2	**F1**	**G1**	9	10			25	26	66		41	42			57	58		
		G2	11	12			27	28			43	44	67		59	60		
	F2	**G1**	13	14			29	30			45	46			61	62		
		G2	15	16			31	32			47	48			63	64		

4.5 Prediksi Nilai Variabel Respon Menggunakan Regresi Linear Berganda

4.5.1 Pengujian Tarik

Prediksi nilai dengan menggunakan *tools* regresi linear berganda dibantu dengan *software* analisis perhitungan yaitu SPSS, sehingga Percobaan pada replikasi yang pertama mendapatkan sebuah tabel sebagai berikut :

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-6.962	.000		.	.
	A	12.604	.000	.826	.	.
	B	-2.012	.000	-.132	.	.
	C	1.996	.000	.131	.	.
	D	3.094	.000	.203	.	.
	E	-1.525	.000	-.100	.	.
	F	2.920	.000	.191	.	.
	G	6.745	.000	.442	.	.

a. Dependent Variable: REPLIKASI

Gambar 4. 5 Hasil Linear Regresi Berganda uji kekuatan Tarik Replikasi 1

Pada percobaan replikasi yang kedua dengan menggunakan *software* SPSS didapatkan sebuah tabel sebagai berikut :

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-8.876	.000		.	.
	A	11.923	.000	.827	.	.
	B	.966	.000	.067	.	.
	C	1.741	.000	.121	.	.
	D	3.028	.000	.210	.	.
	E	.740	.000	.051	.	.
	F	.374	.000	.026	.	.
	G	7.190	.000	.499	.	.

a. Dependent Variable: REPLIKASI

Gambar 4. 6 Hasil Linear Regresi Berganda uji kekuatan Tarik Replikasi 2

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan regresi linear pada pengujian Tarik diatas maka akan mendapatkan persamaan sebagai berikut :

Tabel 4. 14 Persamaan regresi linear berganda uji tarik

Replikasi ke	Model Regresi
1	Y=(-6,962)+12,604x1+(-2,012)x2+1,996x3+3,094x4+(-1,525)x5+2,920x6+6,745x7
2	Y=(-8,876)+11,923x1+(-0,966)x2+1,741x3+3,028x4+(0,740)x5+0,374x6+7,190x7

Berdasarkan model regresi linear berganda yang sudah diperoleh dan penomoran untuk *Trial* 1/16 pada tabel sebelumnya, dapat disusun hasil prediksi kekuatan Tarik spesimen dalam (mpa) sebagai tabel berikut :

Tabel 4. 15 hasil prediksi kekuatan Tarik spesimen

Trial	Faktor Pengujian Tarik Replikasi							Hasil Regresi		Rata-rata
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi 1	Replikasi 2	
1	1	1	1	1	1	1	1	16.83	15.154	15.992
2	1	1	1	2	1	1	1	19.924	18.182	19.053
3	1	1	1	1	1	1	2	23.575	22.344	22.9595
4	1	1	1	2	1	1	2	26.669	25.372	26.0205
5	1	1	1	1	1	2	1	19.75	15.528	17.639
6	1	1	1	2	1	2	1	22.844	18.556	20.7
7	1	1	1	1	1	2	2	26.495	22.718	24.6065
8	1	1	1	2	1	2	2	29.589	25.746	27.6675
9	1	1	1	1	2	1	1	15.305	15.894	15.5995
10	1	1	1	2	2	1	1	18.399	18.922	18.6605
11	1	1	1	1	2	1	2	22.05	23.084	22.567
12	1	1	1	2	2	1	2	25.144	26.112	25.628
13	1	1	1	1	2	2	1	18.225	16.268	17.2465
14	1	1	1	2	2	2	1	21.319	19.296	20.3075
15	1	1	1	1	2	2	2	24.97	23.458	24.214
16	1	1	1	2	2	2	2	28.064	26.486	27.275
17	1	2	1	1	1	1	1	14.818	14.188	14.503
18	1	2	1	2	1	1	1	17.912	17.216	17.564
19	1	2	1	1	1	1	2	21.563	21.378	21.4705
20	1	2	1	2	1	1	2	24.657	24.406	24.5315
21	1	2	1	1	1	2	1	17.738	14.562	16.15
22	1	2	1	2	1	2	1	20.832	17.59	19.211
23	1	2	1	1	1	2	2	24.483	21.752	23.1175
24	1	2	1	2	1	2	2	27.577	24.78	26.1785
25	1	2	1	1	2	1	1	13.293	14.928	14.1105
26	1	2	1	2	2	1	1	16.387	17.956	17.1715
27	1	2	1	1	2	1	2	20.038	22.118	21.078

Trial	Faktor Pengujian Tarik Replikasi							Hasil Regresi		Rata-rata
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi 1	Replikasi 2	
28	1	2	1	2	2	1	2	23.132	25.146	24.139
29	1	2	1	1	2	2	1	16.213	15.302	15.7575
30	1	2	1	2	2	2	1	19.307	18.33	18.8185
31	1	2	1	1	2	2	2	22.958	22.492	22.725
32	1	2	1	2	2	2	2	26.052	25.52	25.786
33	2	1	1	1	1	1	1	29.434	27.077	28.2555
34	2	1	1	2	1	1	1	32.528	30.105	31.3165
35	2	1	1	1	1	1	2	36.179	34.267	35.223
36	2	1	1	2	1	1	2	39.273	37.295	38.284
37	2	1	1	1	1	2	1	32.354	27.451	29.9025
38	2	1	1	2	1	2	1	35.448	30.479	32.9635
39	2	1	1	1	1	2	2	39.099	34.641	36.87
40	2	1	1	2	1	2	2	42.193	37.669	39.931
41	2	1	1	1	2	1	1	27.909	27.817	27.863
42	2	1	1	2	2	1	1	31.003	30.845	30.924
43	2	1	1	1	2	1	2	34.654	35.007	34.8305
44	2	1	1	2	2	1	2	37.748	38.035	37.8915
45	2	1	1	1	2	2	1	30.829	28.191	29.51
46	2	1	1	2	2	2	1	33.923	31.219	32.571
47	2	1	1	1	2	2	2	37.574	35.381	36.4775
48	2	1	1	2	2	2	2	40.668	38.409	39.5385
49	2	2	1	1	1	1	1	27.422	26.111	26.7665
50	2	2	1	2	1	1	1	30.516	29.139	29.8275
51	2	2	1	1	1	1	2	34.167	33.301	33.734
52	2	2	1	2	1	1	2	37.261	36.329	36.795
53	2	2	1	1	1	2	1	30.342	26.485	28.4135
54	2	2	1	2	1	2	1	33.436	29.513	31.4745
55	2	2	1	1	1	2	2	37.087	33.675	35.381
56	2	2	1	2	1	2	2	40.181	36.703	38.442
57	2	2	1	1	2	1	1	25.897	26.851	26.374
58	2	2	1	2	2	1	1	28.991	29.879	29.435
59	2	2	1	1	2	1	2	32.642	34.041	33.3415
60	2	2	1	2	2	1	2	35.736	37.069	36.4025
61	2	2	1	1	2	2	1	28.817	27.225	28.021
62	2	2	1	2	2	2	1	31.911	30.253	31.082
63	2	2	1	1	2	2	2	35.562	34.415	34.9885
64	2	2	1	2	2	2	2	38.656	37.443	38.0495
65	1	2	2	1	1	2	2	26.449	23.493	24.971
66	1	2	2	2	2	1	1	18.353	19.697	19.025

Trial	Faktor Pengujian Tarik Replikasi							Hasil Regresi		Rata-rata
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi 1	Replikasi 2	
67	2	1	2	1	2	1	2	36.62	36.748	36.684
68	2	1	2	2	1	2	1	37.414	32.22	34.817

4.5.2 Pengujian Kekasaran Permukaan

Percobaan perhitungan regresi linear berganda pada replikasi yang pertama menggunakan *software* SPSS mendapatkan sebuah tabel sebagai berikut :

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	35.373	.000		.	.
	A	-1.618	.000	-.208	.	.
	B	-3.498	.000	-.450	.	.
	C	.203	.000	.026	.	.
	D	-3.613	.000	-.465	.	.
	E	-3.453	.000	-.444	.	.
	F	-4.533	.000	-.583	.	.
	G	-.133	.000	-.017	.	.

a. Dependent Variable: REPLIKASI

Gambar 4. 7 Hasil Regresi linear berganda kekasaran permukaan replikasi 1

Percobaan perhitungan regresi linear berganda pada replikasi yang kedua menggunakan *software* SPSS mendapatkan sebuah tabel sebagai berikut :

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	42.973	.000		.	.
	A	-.633	.000	-.070	.	.
	B	-4.918	.000	-.546	.	.
	C	-2.133	.000	-.237	.	.
	D	-3.933	.000	-.437	.	.
	E	-3.348	.000	-.372	.	.
	F	-4.933	.000	-.548	.	.
	G	-.948	.000	-.105	.	.

a. Dependent Variable: REPLIKASI

Gambar 4. 8 Hasil Regresi linear berganda kekasaran permukaan replikasi 2

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan regresi linear pada pengujian kekasaran permukaan diatas maka akan mendapatkan persamaan sebagai berikut :

Tabel 4. 16 Persamaan regresi linear berganda uji kekasaran permukaan

Replikasi	Model Regresi
1	Y=(35,373)+(-1,618)+(-3,498)x2+0,203x3+(-3,613)x4+(-3,453)x5+(-4,533)x6+(-0,133)x7
2	Y=(42,973)+(-0,633)x1+(-4,918)x2+(-2,133)x3+(-3,933)x4+(-3,348)x5+(-4,933)x6+(0,948)x7

Berdasarkan model regresi linear berganda yang sudah diperoleh dan penomoran untuk *Trial* 1/16 FFE pada tabel sebelumnya, dapat disusun hasil prediksi kekasaran permukaan spesimen dalam (µm) sebagai tabel berikut :

Tabel 4. 17 hasil prediksi kekasaran permukaan spesimen

Trial	Faktor Pengujian Kekasaran Permukaan							Hasil Regresi		Rata-Rata
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi 1	Replikasi 2	
1	1	1	1	1	1	1	1	18.322	22.127	20.2245
2	1	1	1	2	1	1	1	14.709	18.194	16.4515
3	1	1	1	1	1	1	2	18.189	21.179	19.684
4	1	1	1	2	1	1	2	14.576	17.246	15.911
5	1	1	1	1	1	2	1	13.789	17.194	15.4915
6	1	1	1	2	1	2	1	10.176	13.261	11.7185
7	1	1	1	1	1	2	2	13.656	16.246	14.951

Trial	Faktor Pengujian Kekasaran Permukaan							Hasil Regresi		Rata-Rata
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi 1	Replikasi 2	
8	1	1	1	2	1	2	2	10.043	12.313	11.178
9	1	1	1	1	2	1	1	14.869	18.779	16.824
10	1	1	1	2	2	1	1	11.256	14.846	13.051
11	1	1	1	1	2	1	2	14.736	17.831	16.2835
12	1	1	1	2	2	1	2	11.123	13.898	12.5105
13	1	1	1	1	2	2	1	10.336	13.846	12.091
14	1	1	1	2	2	2	1	6.723	9.913	8.318
15	1	1	1	1	2	2	2	10.203	12.898	11.5505
16	1	1	1	2	2	2	2	6.59	8.965	7.7775
17	1	2	1	1	1	1	1	14.824	17.209	16.0165
18	1	2	1	2	1	1	1	11.211	13.276	12.2435
19	1	2	1	1	1	1	2	14.691	16.261	15.476
20	1	2	1	2	1	1	2	11.078	12.328	11.703
21	1	2	1	1	1	2	1	10.291	12.276	11.2835
22	1	2	1	2	1	2	1	6.678	8.343	7.5105
23	1	2	1	1	1	2	2	10.158	11.328	10.743
24	1	2	1	2	1	2	2	6.545	7.395	6.97
25	1	2	1	1	2	1	1	11.371	13.861	12.616
26	1	2	1	2	2	1	1	7.758	9.928	8.843
27	1	2	1	1	2	1	2	11.238	12.913	12.0755
28	1	2	1	2	2	1	2	7.625	8.98	8.3025
29	1	2	1	1	2	2	1	6.838	8.928	7.883
30	1	2	1	2	2	2	1	3.225	4.995	4.11
31	1	2	1	1	2	2	2	6.705	7.98	7.3425
32	1	2	1	2	2	2	2	3.092	4.047	3.5695
33	2	1	1	1	1	1	1	16.704	21.494	19.099
34	2	1	1	2	1	1	1	13.091	17.561	15.326
35	2	1	1	1	1	1	2	16.571	20.546	18.5585
36	2	1	1	2	1	1	2	12.958	16.613	14.7855
37	2	1	1	1	1	2	1	12.171	16.561	14.366
38	2	1	1	2	1	2	1	8.558	12.628	10.593
39	2	1	1	1	1	2	2	12.038	15.613	13.8255
40	2	1	1	2	1	2	2	8.425	11.68	10.0525
41	2	1	1	1	2	1	1	13.251	18.146	15.6985
42	2	1	1	2	2	1	1	9.638	14.213	11.9255
43	2	1	1	1	2	1	2	13.118	17.198	15.158
44	2	1	1	2	2	1	2	9.505	13.265	11.385
45	2	1	1	1	2	2	1	8.718	13.213	10.9655
46	2	1	1	2	2	2	1	5.105	9.28	7.1925

Trial	Faktor Pengujian Kekasaran Permukaan							Hasil Regresi		Rata-Rata
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi 1	Replikasi 2	
47	2	1	1	1	2	2	2	8.585	12.265	10.425
48	2	1	1	2	2	2	2	4.972	8.332	6.652
49	2	2	1	1	1	1	1	13.206	16.576	14.891
50	2	2	1	2	1	1	1	9.593	12.643	11.118
51	2	2	1	1	1	1	2	13.073	15.628	14.3505
52	2	2	1	2	1	1	2	9.46	11.695	10.5775
53	2	2	1	1	1	2	1	8.673	11.643	10.158
54	2	2	1	2	1	2	1	5.06	7.71	6.385
55	2	2	1	1	1	2	2	8.54	10.695	9.6175
56	2	2	1	2	1	2	2	4.927	6.762	5.8445
57	2	2	1	1	2	1	1	9.753	13.228	11.4905
58	2	2	1	2	2	1	1	6.14	9.295	7.7175
59	2	2	1	1	2	1	2	9.62	12.28	10.95
60	2	2	1	2	2	1	2	6.007	8.347	7.177
61	2	2	1	1	2	2	1	5.22	8.295	6.7575
62	2	2	1	2	2	2	1	1.607	4.362	2.9845
63	2	2	1	1	2	2	2	5.087	7.347	6.217
64	2	2	1	2	2	2	2	1.474	3.414	2.444
65	1	2	2	1	1	2	2	9.955	9.195	9.575
66	1	2	2	2	2	1	1	7.555	7.795	7.675
67	2	1	2	1	2	1	2	12.915	15.065	13.99
68	2	1	2	2	1	2	1	8.355	10.495	9.425

Berdasarkan tabel diatas kondisi terbaik untuk kekuatan uji tarik spesimen adalah pada *Trial* ke 48 yaitu kombinasi level factor A2, B1, C1, D2, E2, F2, G2, pada kondisi ini menghasilkan kekuatan tarik spesimen sebesar 39,538 Mpa dan kekasaran permukaan 6,652 µm yang berarti terjadi kenaikan kualitas kekuatan Tarik spesimen yang cukup tinggi yaitu (39,538 Mpa -15,992 Mpa = 23,546 Mpa) dan terjadi penurunan juga pada kekasaran permukaan yaitu (20,224 µm – 6,652 µm = 13,572 µm).

Kemudian kondisi terbaik untuk kekasaran permukaan adalah pada *Trial* ke 64 yaitu kombinasi level factor A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2, pada kondisi ini menghasilkan kekasaran permukaan sebesar 2,444 µm dan kekuatan Tarik spesimen sebesar 38,049 Mpa yang berarti terjadi Penurunan kualitas kekasaran permukaan yang tinggi (20,224

µm – 2,444 µm = 17,78 µm), juga terjadi kenaikan kualitas kekuatan Tarik spesimen yaitu (38,049 Mpa – 15,992 Mpa = 22,057 Mpa).

4.6 Penentuan Level Faktor Optimal Menggunakan MRSN

Karena kondisi optimal kekuatan Tarik spesimen (Mpa) dan kekasaran permukaan (µm) diperoleh dari kombinasi level faktor yang berbeda, maka diperlukan analisis lebih lanjut untuk melakukan optimasi dari kondisi yang berbeda tersebut menggunakan metode Taguchi Multi respon. Taguchi multi respon yang digunakan adalah menggunakan *Multi Response Signal To Noise* (MRSN), Berikut merupakan perhitungannya :

- Melakukan Pembobotan *Crips* Score untuk masing-masing respon.

  Berdasarkan perhitungan menggunakan *Scoring Fuzzy*, pembobotan untuk kekuatan Tarik spesimen (W1) dan pembobotan kekasaran permukaan (W2) perhitungannya adalah sebagai berikut :

  $W1 = \frac{0,75}{0,75+0,583} = 0,56264$

  $W2 = \frac{0,583}{0,75+0,583} = 0,43736$

- Menghitung *Loss Function* berdasarkan karakteristik kualitas masing-masing

  Pada perhitungan *Loss Function* akan diperhitungkan juga terkait biaya yang digunakan dalam melakukan penelitian. Dalam hal ini biaya yang dimaksud adalah asumsi biaya dalam sekali pencetakan spesimen atau masing-masing eksperimen. Dari penggunaan listrik mesin 3D Print, diketahui spesifikasi kelistrikan dari mesin 3D *Printer* tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 18 Spesifikasi Creality CR-10S Pro

Creality CR 10S Pro		
Input	Ampere	Watt
220	2.6	572

Berdasarkan dari spesifikasi tersebut dapat diketahui biaya listriknya dengan ketentuan harga KWH per jam nya adalah Rp. 1.699,-. Kemudian berdasarkan wawancara dengan laboran Lab Bahan dan Lab SIMAN maka akan ada biaya untuk *preventive maintenance*

yaitu sebesar Rp. 35.000,- per sekali cetak serta biaya cetak per gramnya sebesar Rp. 1.000,-. Sehingga untuk biaya yang digunakan adalah biaya listri, biaya *preventive maintenance* dan biaya massa cetak per gramnya. Kemudian berikut merupakan rangkuman untuk menghitung dari *quality loss* pada masing-masing variabel respon.

1. Kekuatan Tarik

   Kombinasi level faktor secara *default* atau pilihan dari *software slicer* yang digunakan adalah A1, B1, C1, D1, E1, F1, dan G1 yang berarti pencetakan menggunakan parameter ketebalan lapisan sebesar 0,2 mm, suhu pencetakan 190^{o}C, jumlah *walls* sebanyak 2, bentuk *infill* adalah Cubic, kecepatan pencetakan 30 mm/s dan diameter *nozzle* adalah 0,2 mm. Kemudian dalam satu kali pencetakan dengan *setting default* memiliki lama waktu yaitu 3 jam 27 menit, sehingga biaya yang dibutuhkan adalah Rp 47.352, dengan kekuatan Tarik sebesar 15,992 Mpa. Kombinasi level faktor terbaik dari kekuatan Tarik spesimen adalah A2, B1, C1, D2, E2, F2, G2. Kondisi ini membutuhkan biaya yang berhubungan dengan faktor kendali sebesar Rp 45.699,- (turun Rp 1.653) dengan kekuatan Tarik spesimen sebesar 39,358 Mpa (naik 23,546 Mpa).

   Jadi k= $1.653/23{,}546^2 = 2{,}98$

2. Kekasaran Permukaan

   Kombinasi level faktor secara *default* atau pilihan dari *software slicer* yang digunakan adalah A1, B1, C1, D1, E1, F1, dan G1 yang berarti pencetakan menggunakan parameter ketebalan lapisan sebesar 0,2 mm, suhu pencetakan 190^{o}C, jumlah *walls* sebanyak 2, bentuk *infill* adalah Cubic, kecepatan pencetakan 30 mm/s dan diameter *nozzle* adalah 0,2 mm. Kemudian dalam satu kali pencetakan dengan *setting default* memiliki lama waktu yaitu 3 jam 27 menit, sehingga biaya yang dibutuhkan adalah Rp 47.352, dengan kekasaran permukaan sebesar 20,224 µm . Kombinasi level faktor terbaik dari kekasaran permukaan spesimen adalah A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2. Kondisi ini membutuhkan biaya yang berhubungan dengan faktor kendali sebesar Rp 45.699,- (turun Rp 1.653) dengan kekasaran permukaan spesimen sebesar 2,444 µm (turun17,78 µm).

   Jadi k= $1.653/17{,}78^2 = 5{,}22$

- Menentukan nilai MRSN untuk masing-masing percobaan, berdasarkan rumus diatas maka diperoleh nilai MRSN sebagaimana tabel berikut :

Tabel 4. 19 Hasil Optimal metode MRSN

Trial	Faktor Pengujian							MRSN
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	7.184475
2	1	1	1	2	1	1	1	10.4975
3	1	1	1	1	1	1	2	10.60067
4	1	1	1	2	1	1	2	13.53183
5	1	1	1	1	1	2	1	10.18643
6	1	1	1	2	1	2	1	14.02537
7	1	1	1	1	1	2	2	13.51634
8	1	1	1	2	1	2	2	17.06271
9	1	1	1	1	2	1	1	8.578763
10	1	1	1	2	2	1	1	12.31967
11	1	1	1	1	2	1	2	12.08666
12	1	1	1	2	2	1	2	15.46909
13	1	1	1	1	2	2	1	12.25029
14	1	1	1	2	2	2	1	16.86162
15	1	1	1	1	2	2	2	15.65593
16	1	1	1	2	2	2	2	20.08554
17	1	2	1	1	1	1	1	8.405678
18	1	2	1	2	1	1	1	12.39649
19	1	2	1	1	1	1	2	12.1303
20	1	2	1	2	1	1	2	15.71386
21	1	2	1	1	1	2	1	12.25296
22	1	2	1	2	1	2	1	17.30974
23	1	2	1	1	1	2	2	15.89599
24	1	2	1	2	1	2	2	20.73895
25	1	2	1	1	2	1	1	10.1846
26	1	2	1	2	2	1	1	14.9701
27	1	2	1	1	2	1	2	14.08394
28	1	2	1	2	2	1	2	18.51673
29	1	2	1	1	2	2	1	15.2274
30	1	2	1	2	2	2	1	22.30727
31	1	2	1	1	2	2	2	19.07724
32	1	2	1	2	2	2	2	26.39514
33	2	1	1	1	1	1	1	12.60944
34	2	1	1	2	1	1	1	15.39402
35	2	1	1	1	1	1	2	14.80457

Trial	Faktor Pengujian							MRSN
	A	B	C	D	E	F	G	
36	2	1	1	2	1	1	2	17.48711
37	2	1	1	1	1	2	1	15.47757
38	2	1	1	2	1	2	1	18.92684
39	2	1	1	1	1	2	2	17.69823
40	2	1	1	2	1	2	2	21.12455
41	2	1	1	1	2	1	1	14.17709
42	2	1	1	2	2	1	1	17.4174
43	2	1	1	1	2	1	2	16.44609
44	2	1	1	2	2	1	2	19.62518
45	2	1	1	1	2	2	1	17.69209
46	2	1	1	2	2	2	1	22.04336
47	2	1	1	1	2	2	2	20.03201
48	2	1	1	2	2	2	2	24.50022
49	2	2	1	1	1	1	1	14.32831
50	2	2	1	2	1	1	1	17.78194
51	2	2	1	1	1	1	2	16.68562
52	2	2	1	2	1	1	2	20.07585
53	2	2	1	1	1	2	1	18.08046
54	2	2	1	2	1	2	1	22.92025
55	2	2	1	1	1	2	2	20.52771
56	2	2	1	2	1	2	2	25.5268
57	2	2	1	1	2	1	1	16.41233
58	2	2	1	2	2	1	1	20.74505
59	2	2	1	1	2	1	2	18.90011
60	2	2	1	2	2	1	2	23.28352
61	2	2	1	1	2	2	1	21.42227
62	2	2	1	2	2	2	1	28.80279
63	2	2	1	1	2	2	2	24.16026
64	2	2	1	2	2	2	2	32.50438
65	1	2	2	1	1	2	2	17.57147
66	1	2	2	2	2	1	1	17.16563
67	2	1	2	1	2	1	2	17.6456
68	2	1	2	2	1	2	1	20.52006

Berdasarkan table 4.17 , diperoleh bahwa kondisi optimal adalah pada *Trial* ke 64 dengan kombinasi level faktor A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2 yang berarti pencetakan terbaik pada parameter ketebalan lapisan sebesar 0,4 mm, suhu pencetakan 220^{o}C, jumlah *walls* sebanyak 2 wall, bentuk *infill* Hexagonal, kepadatan *infill* 80%, *Printing Speed* 80 mm/s,

dan diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm. Kombinasi ini menghasilkan kekuatan Tarik spesimen sebesar 38.0495 Mpa, naik sebesar (38,049 Mpa -15,992 Mpa = 22,057 Mpa), kekasaran permukaan sebesar 2,444 µm, turun sebesar (20,224 µm – 2,444 µm = 17,78 µm).

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Desain Eksperimen

Pada penelitian ini dilakukan Langkah-langkah desain eksperimen yang meliputi perencanaan pencarian parameter untuk eksperimen yang ditujukan untuk mengoptimalkan kualitas produk sebagai berikut :

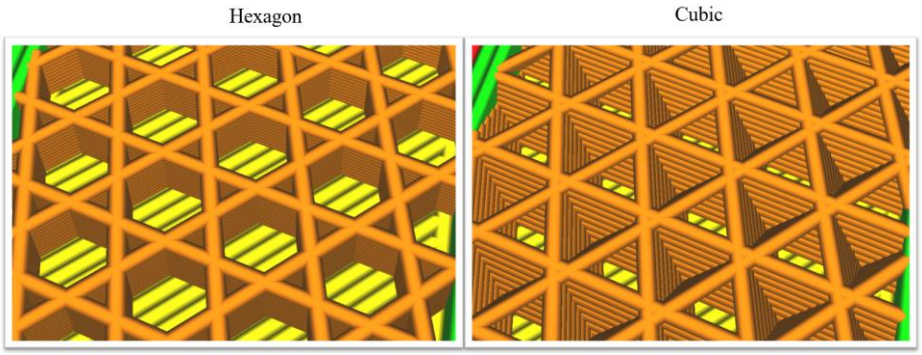
1. Pemilihan karakteristik kualitas spesimen yang akan diteliti dilakukan terhadap spesimen ASTM D-638 yang dikhususkan sebagai *testing* material uji kekuatan Tarik, dan kekuatan tekan. Variabel respon yang dipilih dalam penelitian adalah kekuatan Tarik spesimen dengan fungsi objektif *Larger the Better* (LTB) dan kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) dengan fungsi objektif *Smaller the Better* (STB).
2. Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas spesimen (produk). Faktor-faktor yang dijadikan sebagai penelitian dalam eksperimen adalah : ketebalan per lapisan (*layer thickness*), suhu pencetakan, jumlah shell / wall, Bentuk *infill*, kepadatan *infill*, Kecepatan pencetakan, dan ukuran diameter *nozzle* mesin.
3. Penentuan level faktor

   Level faktor yang digunakan dalam penelitian memiliki ketentuan dan dasar dari penggunaan faktor tersebut. Berikut merupakan ketentuan dari pemilihan faktor yang digunakan.

a. Ketebalan lapisan (*Layer Thickness*) : 0,2 dan 0,4 mm, dipilihnya level pada faktor ini adalah bila ketebalan lapisan < 0,2 mm maka elastisitas dari produk akan

semakin berkurang dikarenakan terlalu rapat, apabila ketebalan lapisan > 0,4 mm maka produk akan semakin mudah untuk mengalami elastisitas.

b. Suhu pencetakan : 190^{o}C dan 220^{o}C, dipilihnya level pada faktor ini adalah karena jika suhu pencetakan < 190^{o}C maka filamen PLA tidak dapat meleleh dengan sempurna sehingga akan sulit untuk mencetak, apabila suhu pencetakan > 220^{o}C, maka filamen PLA akan sangat mudah untuk meleleh sehingga lapisan berikutnya akan sulit untuk ditaruh diatasnya.
c. Jumlah *Shell/Wall* : 2 dan 4 *wall*, dipilihnya level tersebut pada faktor ini adalah untuk melihat apakah terdapat perbedaan dari kedua level tersebut, jika dibandingkan menggunakan *software ultimaker cura* maka akan terlihat tambahan dari wall yang melindungi bagian dalam
d. Bentuk *Infill* : *Cubic* dan *Hexagonal*. Dipilihnya kedua bentuk *infill* tersebut karena masing-masing memiliki keunikan serta pola yang berbeda. Berdasarkan gambar (), pola hexagon memiliki bagian yang terbuka lebar pada tengahnya berbentuk segi enam sedangkan pola cubic tersusun dari bagian terbuka kecil di awal kemudian pada bagian atas akan terbuka lebar.



Gambar 5. 1 Perbandingan Bentuk *Infill*

e. Kepadatan *Infill* : 20% dan 80%. Dipilihnya kedua level tersebut adalah karena jika kepadatan < 20% maka *infill pattern* yang tercipta akan sangat sedikit sehingga dapat membuat produk kosong. Apabila kepadatan > 80% maka pola akan penuh dan membuat proses pencetakan membutuhkan banyak waktu
f. Kecepatan Cetak : 30 mm/s dan 80 mm/s. Dipilihnya kedua level tersebut adalah karena bila kecepatan cetak < 30 mm/s maka proses pencetakan membutuhkan

banyak waktu dan lama. Apabila kecepatan pencetakan > 80 mm/s maka proses pencetakan sangat cepat namun hasil dari pencetakan tidak rapi atau kurang baik.

g. Ukuran Nozzle : 0,2 mm dan 0,4 mm. Dipilihnya kedua level tersebut adalah karena PLA yang digunakan pada penelitian memiliki diameter sebesar 1.75 mm yang mana bila menggunakan nozzle dengan ukuran < 0,2 mm maka PLA tidak dapat dikeluarkan atau tertahan. Kemudian apabila menggunakan nozzle dengan ukuran > 0,4 mm maka terlalu besar sehingga PLA akan semakin cepat keluar.

5.2 Analisis Uji Normalitas dan Uji Homogenitas

Data-data yang sudah diambil melalui proses uji kekuatan Tarik dan uji kekasaran permukaan maka selanjutnya akan memasuki ke dalam tahap pengolahan data. Namun sebelum melakukan pengolahan data, data yang sudah diambil akan diujikan terlebih dahulu terkait normalitasnya. Bila data yang sudah diambil tidak berdistribusi normal, maka perlu adanya perbaikan atau pengambilan data ulang agar data tersebut dapat berdistribusi normal. Pada penelitian ini data dapat dikatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi > 0,05 dan pengujian menggunakan *software* SPSS.

Berdasarkan hasil pengujian normalitas pada gambar 4.1, untuk data uji kekuatan Tarik, didapatkan hasil bahwa data yang sudah diambil dan didapatkan data tersebut berdistribusi normal. Hal ini karena nilai signifikansi > 0,05, yaitu 0,2 > 0,05 sehingga data tersebut berdistribusi normal. Kemudian berdasarkan hasil pengujian normalitas pada gambar 4.2 untuk data uji kekasaran permukaan, didapatkan hasil bahwa data yang sudah diambil dan didapatkan berdistribusi normal. Hal ini karena nilai signifikansi > 0,05, yaitu 0,2 > 0,05 sehingga data tersebut berdistribusi normal. kesimpulan yang didapat adalah kedua data yang sudah diambil melalui ujian tersebut dua-duanya sudah berdistribusi normal sehingga tidak perlu untuk memperbaiki data dan bisa dilakukan pengolahan data.

Selanjutnya karena data sudah berdistribusi normal maka dilanjutka untuk dilakukan uji homogenitas yang bertujuan untuk mengetahui apakah varian dari populasi data sama atau tidak. Uji homogenitas juga diwajibkan apabila hendak melakukan perhitungan analisis variansi (ANOVA), karena asumsi yang mendasari dalam analisis

variansi adalah varian dari populasi sama. Berdasarkan hasil pengujian homogenitas menggunakan *software SPSS* didapatkan bahwa pada data uji kekuatan Tarik memiliki signifikansi sebesar 0,881, hal ini menyatakan bahwa data tersebut sudah bersifat sama atau homogen dikarenakan 0,881 > 0,05 sehingga hasil data tersebut dapat dilanjutkan untuk menghitung analisis variansi. Kemudian pada data uji kekasaran permukaan memiliki signifikansi sebesar 0,762, hal ini menyatakan bahwa data tersebut sudah bersifat sama atau homogen dikarenakan 0,762 > 0,05, sehingga hasil data uji kekasaran permukaan dapat dilanjutkan untuk menghitung analisis variansi. Kesimpulan yang didapatkan adalah kedua hasil data yang sudah diuji homogenitasnya bersifat homogena atau sama sehingga akan dilanjutkan pengolahan data perhitungan analisis variansi atau ANOVA yang bertujuan untuk mengetahui apakah pada masing-masing faktor memiliki pengaruh terhadap variabel terikatnya atau tidak.

5.3 Analisis Perhitungan Analisis Variansi (ANOVA)

Data yang sudah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas yang mana data tersebut bersifat berdistribusi normal dan homogen maka selanjutnya akan dilakukan terkait perhitungan analisis variansi (ANOVA). Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah faktor yang sudah dipilih memiliki signifikansi atau tidak terhadap variabel respon yang sudah ditetapkan. Perhitungan ANOVA yang digunakan dalam penelitian menggunakan ketetapan F_{tabel} sebesar 0,05 (5%). Kemudian hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Hipotesis Pengujian :
  H0 : tidak terdapat signifikansi dari percobaan terhadap variabel respon
  H1 : Ada signifikansi dari percobaan terhadap variabel respon.
- Kriteria Pengujian :

➢ Jika nilai F(hitung) < Ftabel (5%), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh percobaan terhadap kekuatan Tarik spesimen, sehingga H0 diterima dan H1 ditolak.

- Jika nilai F(hitung) > Ftabel (5%), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh percobaan terhadap kekuatan Tarik spesimen, sehingga H0 ditolak dan H1 diterima.

5.3.1 Analisis ANOVA Pengujian kekuatan Tarik

Berdasarkan hipotesis yang sudah dibuat pada penelitian didapatkan hasil dari perhitungan ANOVA pada faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap variabel respon yaitu pengujian kekuatan Tarik yang sudah dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 5. 1 Hasil keputusan ANOVA pengujian tarik

Sumber Variasi	**Parameter**	**Keputusan**
Faktor A	*Layer Thickness*	H1 Diterima atau H0 Ditolak
Faktor B	Suhu Pencetakan	H0 Diterima atau H1 Ditolak
Faktor C	Jumlah *Shell/wall*	H0 Diterima atau H1 Ditolak
Faktor D	Bentuk *Infill*	H1 Diterima atau H0 Ditolak
Faktor E	Kepadatan *Infill*	H0 Diterima atau H1 Ditolak
Faktor F	Kecepatan Pencetakan	H0 Diterima atau H1 Ditolak
Faktor G	*Nozzle Diameter*	H1 Diterima atau H0 Ditolak

Berdasarkan Tabel 5.1 diatas, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi variabel respon dan juga beberapa faktor tidak memiliki atau memiliki sedikit pengaruh terhadap variabel respon. Pada faktor A atau *layer thickness* memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik. Pada faktor B atau suhu pencetakan memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik. Pada faktor C atau jumlah *Wall* memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik. Pada faktor D atau bentuk *infill* memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik. Faktor E atau kepadatan *infill* memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik. Faktor F atau kecepatan pencetakan memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik.

Terakhir pada faktor G atau ukuran diameter nozzle memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekuatan Tarik. Kesimpulan yang didapat dari perhitungan analisis variansi percobaan kekuatan Tarik adalah Faktor A, faktor D, dan Faktor G memiliki signifikansi terhadap percobaan kekuatan Tarik terhadap spesimen, sedangkan Faktor B, faktor C, faktor E, dan faktor F memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian Tarik.

5.3.2 Analisis ANOVA Pengujian Kekasaran Permukaan

Selanjutnya dilakukan juga perhitungan analisis variansi terhadap pengujian kekasaran permukaan yang sudah dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 5. 2 Hasil keputusan ANOVA Kekasaran Permukaan

Sumber Variasi	**Parameter**	**Keputusan**
Faktor A	*Layer Thickness*	H0 Diterima atau H1 Ditolak
Faktor B	Suhu Pencetakan	H1 Diterima atau H0 Ditolak
Faktor C	Jumlah *Shell/wall*	H0 Diterima atau H1 Ditolak
Faktor D	Bentuk *Infill*	H1 Diterima atau H0 Ditolak
Faktor E	Kepadatan *Infill*	H1 Diterima atau H0 Ditolak
Faktor F	Kecepatan Pencetakan	H1 Diterima atau H0 Ditolak
Faktor G	*Nozzle Diameter*	H0 Diterima atau H1 Ditolak

Berdasarkan Tabel 5.2 diatas, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi variabel respon dan juga beberapa faktor tidak memiliki atau memiliki sedikit pengaruh terhadap variabel respon. Pada faktor A atau *layer thickness* memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan kekasaran permukaan. Pada faktor B atau suhu pencetakan memiliki signifikansi terhadap percobaan kekasaran permukaan. Pada faktor C atau jumlah *Wall* memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekasaran permukaan. Pada faktor D atau bentuk *infill* memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekasaran permukaan. Faktor E atau kepadatan *infill* memiliki signifikansi terhadap percobaan kekasaran

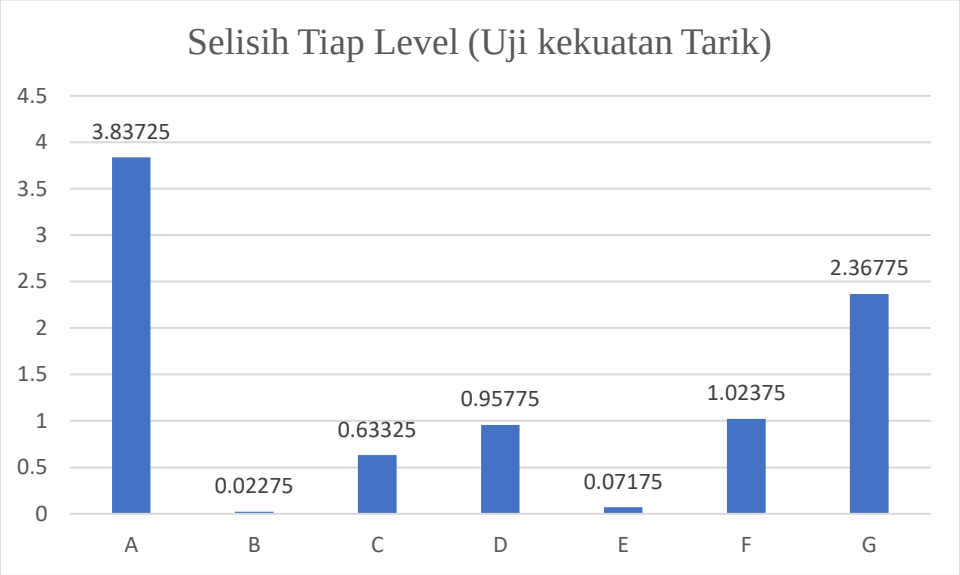
permukaan. Faktor F atau kecepatan pencetakan memiliki signifikansi terhadap percobaan kekasaran permukaan. Terakhir pada faktor G atau ukuran diameter nozzle memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan pengujian kekasaran permukaan. Kesimpulan yang didapat dari perhitungan analisis variansi percobaan kekuatan Tarik adalah Faktor B, faktor D, Faktor E, dan Faktor F memiliki signifikansi terhadap percobaan kekasaran permukaan terhadap spesimen, sedangkan Faktor A, faktor C, dan faktor G memiliki sedikit atau tidak memiliki signifikansi terhadap percobaan kekasaran permukaan.

5.4 Rasio S/N dan Analisis Penentuan Efek Tiap Faktor

Dalam penelitian ini digunakan juga terkait dengan rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*) yang memiliki tujuan untuk menentukan apakah setiap parameter yang sudah dipilih memiliki kualitas dari karakteristik. Dalam Taguchi *Signal to Noise* mencerminkan ukuran perbandingan antara besar *signal* (hal yang yang dapat diteliti) dengan besar *Noise* yang mempengaruhi hasil variabel respon nantinya. Pada pengujian kekuatan Tarik memiliki karakteristik yaitu *Larger the Better* (LTB) yang mana artinya semakin besar nilai dari kekuatan tariknya maka akan semakin baik pula hasilnya nanti. Sedangkan pada pengujian kekasaran permukaan memiliki karakteristik yaitu *Smaller The Better* (STB) yang mana artinya adalah semakin kecil hasilnya maka semakin baik pula untuk hasilnya. Kemudian berdasarkan Tabel pada perhitungan rasio S/N sebelumnya untuk kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan akan dijadikan acuan sebagai penentuan efek tiap faktornya sehingga akan mendapatkan parameter optimal.

5.4.1 Analisis Penentuan Efek Tiap Faktor Kekuatan Tarik

Berdasarkan perhitungan dengan melakukan penjumlahan terhadap rasio S/N pada masing-masing level dan kemudian dibagi dengan jumlah penggunaan level di percobaan tersebut maka didapatkan grafik seperti berikut.



Gambar 5. 2 Grafik Selisih Level Uji Tarik

Berdasrkan gambar 5.1 diatas, dapat dilihat bahwa terdapat 7 faktor yang dilakukan *ranking* dari selisih paling besar hingga paling kecil. Faktor A atau *layer thickness* memiliki nilai paling besar yaitu 3,83725 sehingga memiliki peringkat 1 atau yang paling mempengaruhi dari variabel respon. Peringkat ke-2 dimiliki oleh faktor G atau ukuran diameter *nozzle* yaitu sebesar 2,36775, peringkat ke-3 dimiliki oleh faktor F yaitu kecepatan pencetakan produk sebesar 1,02375, peringkat ke-4 dimiliki oleh faktor D yaitu bentuk *infill* sebesar 0,95775, peringkat ke-5 dimiliki oleh faktor C yaitu Jumlah *wall* yaitu sebesar 0,63325, peringkat ke-6 dimiliki oleh faktor E yaitu kepadatan *infill* sebesar 0,07175, dan yang terakhir adalah peringkat ke-7 dimiliki oleh faktor B yaitu suhu pencetakan sebesar 0,02275. Hasil yang ditujukan sedikit berbeda dengan perhitungan hipotesis yang sudah dilakukan pada analisis variansi sebelumnya.

Selanjutnya dapat diketahui parameter yang optimal sesuai dengan perhitungan efek tiap faktor yang sudah dilakukan. Berikut merupakan tabel penentuan parameter yang optimal pada pengujian kekuatan Tarik.

Tabel 5. 3 Penentuan Parameter Kekuatan Tarik

Faktor	Level 1	Level 2	Optimal
A	27.1158	30.953	A2

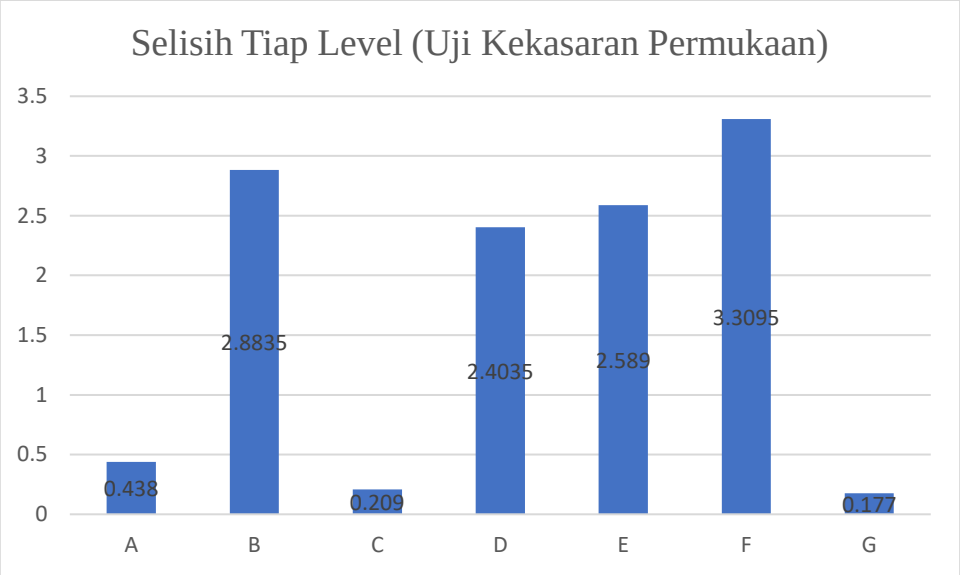
Faktor	Level 1	Level 2	Optimal
B	29.0458	29.023	B1
C	28.7178	29.351	C1
D	28.5555	29.5133	D2
E	28.9985	29.0703	E2
F	28.5225	29.5463	F2
G	27.8505	30.2183	G2

Berdasarkan tabel 5.3 diatas penentuan parameter yang optimal adalah dengan melihat nilai mana yang lebih besar antara level 1 dengan level 2. Pada Faktor A atau *layer thickness* nilai yang lebih besar adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah A2, pada faktor B nilai yang lebih besar adalah level 1 sehingga parameter yang dipilih adalah B1, pada faktor C yang dipilih adalah level 1 hal ini dikarenakan pada perhitungan analisis variansi antara uji kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan, faktor C tidak memiliki pengaruh sama sekali sehingga yang dipilih adalah C1 karena memiliki harga yang lebih rendah daripada C2. Kemudian pada faktor D yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah D2, pada faktor E yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah E2, pada faktor F yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dpilih adalah F2, dan yang terakhir pada faktor G yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah G2. Parameter yang dibentuk berdasarkan efek tiap faktor adalah A2, B1, C1, D2, E2, F2, dan G2. Kesimpulannya adalah berdasarkan penentuan efek tiap faktor, spesimen terbaik dicetak pada ketebalan lapisan sebesar 0,4 mm, suhu pencetakan sebesar 190^{o}C, jumlah *wall* sebanyak 2 wall, bentuk *infill* adalah Hexagonal, kepadatan *infill* sebesar 80%, kecepatan pencetakan sebesar 80 mm/s dan ukuran diameter *nozzle* adalah 0,4 mm.

5.4.2 Analisis Penentuan Efek Tiap Faktor Kekasaran Permukaan

Berdasarkan perhitungan yang sama pula dengan kekuatan uji Tarik, uji kekasaran permukaan yaitu dengan melakukan penjumlahan terhadap rasio S/N pada masing-

masing level dan kemudian dibagi dengan jumlah penggunaan level di percobaan tersebut maka didapatkan grafik seperti berikut.



Gambar 5. 3 Grafik Selisih Level Uji Kekasaran Permukaan

Berdasrkan gambar 5.2 diatas, dapat dilihat bahwa terdapat 7 faktor yang dilakukan *ranking* dari selisih paling besar hingga paling kecil. Faktor F memiliki nilai paling besar yaitu 3,3095 sehingga memiliki peringkat 1 atau yang paling mempengaruhi dari variabel respon. Peringkat ke-2 dimiliki oleh faktor B yaitu suhu pencetakan sebesar 2,8835, peringkat ke-3 dimiliki oleh faktor E yaitu kepadatan *infill* sebesar 2,589, peringkat ke-4 dimiliki oleh faktor D yaitu bentuk *infill* sebesar 2,4035, peringkat ke-5 dimiliki oleh faktor A yaitu ketebalan lapisan sebesar 0,438, peringkat ke-6 dimiliki oleh faktor C yaitu jumlah wall sebesar 0,209, dan yang terakhir adalah peringkat ke-7 dimiliki oleh faktor G yaitu ukuran diameter *nozzle* sesbesar 0,1777. Hasil yang ditujukan sedikit berbeda dengan perhitungan hipotesis yang sudah dilakukan pada analisis variansi sebelumnya.

Selanjutnya dapat diketahui parameter yang optimal sesuai dengan perhitungan efek tiap faktor yang sudah dilakukan. Berikut merupakan tabel penentuan parameter yang optimal pada pengujian kekasaran permukaan.

Tabel 5. 4 Penentuan Efek tiap Faktor Kekasaran Permukaan

Faktor	Level 1	Level 2	Optimal
A	-20.626	-20.18825	A2
B	-21.849	-18.9655	B2
C	-20.512	-20.30275	C1
D	-21.609	-19.2055	D2
E	-21.702	-19.11275	E2
F	-22.062	-18.7525	F2
G	-20.319	-20.49575	G2

Berdasarkan tabel 5.4 diatas penentuan parameter yang optimal adalah dengan melihat nilai mana yang lebih besar antara level 1 dengan level 2. Pada Faktor A atau *layer thickness* nilai yang lebih besar adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah A2, pada faktor B nilai yang lebih besar adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah B2, pada faktor C yang dipilih adalah level 1 hal ini dikarenakan pada perhitungan analisis variansi antara uji kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan, faktor C tidak memiliki pengaruh sama sekali sehingga yang dipilih adalah C1 karena memiliki harga yang lebih rendah daripada C2. Kemudian pada faktor D yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah D2, pada faktor E yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah E2, pada faktor F yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dpilih adalah F2, dan yang terakhir pada faktor G yang dipilih adalah level 2 sehingga parameter yang dipilih adalah G2. Parameter yang dibentuk berdasarkan efek tiap faktor adalah A2, B2, C1, D2, E2, F2, dan G2. Kesimpulannya adalah berdasarkan penentuan efek tiap faktor, spesimen terbaik dicetak pada ketebalan lapisan sebesar 0,4 mm, suhu pencetakan sebesar 220^{o}C, jumlah *wall* sebanyak 2 wall, bentuk *infill* adalah Hexagonal, kepadatan *infill* sebesar 80%, kecepatan pencetakan sebesar 80 mm/s dan ukuran diameter *nozzle* adalah 0,4 mm.

5.5 Analisis Prediksi Level Terbaik Masing-Masing Variabel Respon

Berdasarkan perhitungan efek tiap faktor sebelumnya dapat disimpulkan bahwa untuk parameter optimal uji kekuatan Tarik adalah A2, B1, C1, D2, E2, F2, dan G2, sedangkan untuk uji kekasaran permukaan parameter optimalnya adalah A2, B2, C1, D2, E2, F2, dan G2. Pada masing-masing uji masih terdapat perbedaan yaitu pada Faktor B yaitu suhu pencetakan. Karena kombinasi level faktor optimal pada masing-masing variabel respon berbeda, maka diperlukan analisis multi respon. Faktor yang berpengaruh banyak adalah A, B, D, E, F, dan G, sehingga dilakukan analisis terhadap 2^6=64 alternatif kombinasi ditambahkan dengan 4 kombinasi C2 yang sudah pernah dieksperimenkan. Masing-masing variabel respon dilakukan perhitungan regresi linear berganda untuk mendapatkan *forecast* hasilnya. Kemudian setelah persamaan regresi linear berganda didapatkan akan diuji terhadap beberapa eksperimen yang sudah diujikan sehingga memiliki hasil yang hampir sama. Berikut merupakan perbandingan dari perhitungan persamaan tersebut pada uji kekuatan tarik.

Tabel 5. 5 Perbandingan hasil dan regresi linear uji tarik

Trial No	Uji tarik		Hasil Regresi	
	Replikasi 1 (Mpa)	Replikasi 2 (Mpa)	Replikasi 1 (Regresi)	Replikasi 2 (Regresi)
Trial 1	16.86	17.086	16.83	15.154
Trial 2	28.094	28.418	28.064	26.486

Perhitungan dengan menggunakan persamaan dari regresi linear berganda juga dilakukan pada uji kekasaran permukaan. Berikut merupakan perbandingan dari perhitungan persamaan tersebut pada uji kekasaran permukaan.

Tabel 5. 6 Perbandingan hasil dan regresi linear uji Kekasaran Permukaan

Trial No	Surface Roughness		Hasil Regresi	
	Ra1 (µm)	Ra2 (µm)	Replikasi 1	Replikasi 2
Trial 1	18.73	22.13	18.322	22.127
Trial 2	7	8.97	6.59	8.965

Berdasarkan tabel 5.5 dan 5.6 diatas dapat disimpulkan bahwa setiap hasil peramalan menggunakan regresi linear berganda memiliki nilai yang mendekati dari hasil uji aslinya, sehingga bisa dijadikan acuan pada saat memilih nilai optimal nantinya. Setelah membandingkan kedua nilai tersebut, berikutnya didapatkan total 68 kali percobaan pada masing-masing variabel respon. Pada tahap ini dipilih nilai hasil rata-rata yang paling besar untuk uji kekuatan Tarik dan nilai hasil rata-rata yang paling kecil untuk uji kekasaran permukaan. Hal ini didasarkan pada karakteristik masing-masing variabel respon, yaitu *Larger the better* untuk uji kekuatan Tarik dan *Smaller the Better* untuk kekasaran permukaan.

Berdasarkan tabel 4.13 didapatkan bahwa prediksi kondisi terbaik untuk spesimen uji Tarik adalah pada percobaan atau *Trial* ke-48 yaitu dengan kombinasi level factor A2, B1, C1, D2, E2, F2, G2. Pada *Trial* tersebut menghasilkan kekuatan Tarik sebesar 39,538 Mpa dan kekasaran permukaan sebesar 6,652 µm. Pada kondisi ini kekuatan Tarik mengalami kenaikan yang cukup tinggi yaitu sebesar 23,546 Mpa begitu juga dengan kekasaran permukaan yaitu 13,572 µm. Percobaan ini dilihat dari hasil yang terbesar pada percobaan tersebut yang artinya adalah spesimen yang diujikan mampu menahan tekanan hingga 39,538 Mpa, sehingga dalam segi kekuatan Tarik saja *Trial* ini sangat baik.

Kemudian berdasarkan tabel 4.15 didapatkan bahwa prediksi kondisi terbaik untuk spesimen kekasaran permukaan adalah pada percobaan atau *Trial* ke-64 dengan kombinasi parameter A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2. Dilihat dari hasil regresi linear-nya parameter ini memiliki kekasaran permukaan sebesar 2,444 µm yang artinya kerapatan dimensi pada permukaannya sangatlah kecil atau dapat dikatakan spesimen ini sangat halus permukaannya. Pada kondisi ini terjadi kenaikan kualitas pada kekasaran permukaannya yaitu turun sebesar 17,78 µm dan juga kenaikan kualitas pada kekuatan uji tariknya yaitu sebesar 22,057 Mpa.

Berikut merupakan tabel perbandingan kedua prediksi parameter tersebut.

Tabel 5. 7 Perbandingan Prediksi Parameter

Perbandingan Prediksi Parameter		
Trial	**Uji Tarik (Mpa)**	**Kekasaran Permukaan (µm)**
48	39.538	6.652
64	38.049	2.444

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi parameter pada *Trial* ke 48 sangat optimal dalam kekuatan uji tariknya dan kondisi parameter pada *Trial* ke 64 sangat baik dalam kekasaran permukaannya. Oleh karena itu, prediksi penentuan parameter yang optimal masih belum dapat ditemukan sehingga dilanjutkan ke perhitungan berikutnya.

5.6 Analisis Penentuan Level Faktor Optimal.

Pada prediksi parameter optimal sebelumnya belum tercapai titik optimalnya pada kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan karena level parameter yang berbeda, maka diperlukan analisis lebih lanjut untuk melakukan optimasi tersebut. Penentuan parameter optimal menggunakan metode *Multi Response Signal to Noise* (MRSN) yang mana terdiri dari beberapa tahapan hingga dapat menemukan parameter yang optimal. Pada tahap *loss function* ditentukan terlebih dahulu terkait biaya dalam pembuatan spesimen produk. Biaya yang digunakan yaitu biaya listrik, biaya operator pencetakan spesimen produk, dan biaya berat masing-masing spesimennya. Kemudian selanjutnya melakukan tahap normalisasi *quality loss* hingga menemukan hasil optimal satu parameter terbaik.

Perbandingan yang digunakan dalam biaya ini adalah Ketika parameter pencetakan produk berada dalam *setting default* yaitu dengan parameter A1, B1, C1, D1, E1, F1, dan G1 dibandingkan dengan kombinasi parameter terbaik kekuatan uji tarik pada prediksi sebelumnya yaitu A2, B1, C1, D2, E2, F2, G2. Perbandingan tersebut dapat dilihat yang pertama adalah lama waktu yang dibutuhkan, pada penggunaan *setting default* membutuhkan waktu kurang lebih sebesar 3 jam 27 menit, sedangkan dengan parameter kekuatan Tarik yang diprediksi membutuhkan waktu hanya sekitar 27 menit saja. Hal tersebut sangat berpengaruh dalam biaya pembuatannya. Berdasarkan perhitungan dan asumsi biaya yang dibutuhkan, parameter *default* membutuhkan biaya

sebesar Rp 47.352 yang mana harga ini lebih mahal dibandingkan dengan parameter prediksi kekuatan Tarik yang hanya membutuhkan biaya sebesar Rp 45.699 sehingga memiliki selisih yang cukup besar. Oleh karena itu, dengan melihat perbandingan mulai dari lama waktu pencetakan, biaya, dan hasil uji parameter dapat diambil kesimpulan bahwa parameter prediksi kekuatan Tarik lebih optimal dibandingkan *setting default*.

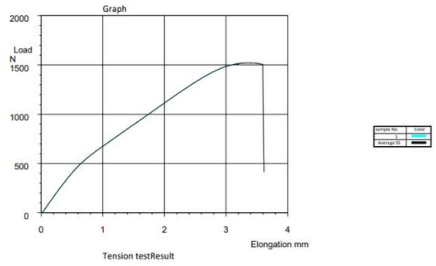
Melakukan perbandingan yang sama yaitu dengan biayanya terlebih dahulu Ketika parameter cetak spesimen dalam *setting default* yaitu dengan parameter A1, B1, C1, D1, E1, F1, dan G1 dibandingkan dengan kombinasi parameter terbaik kekasaran permukaan pada prediksi sebelumnya yaitu A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2. Perbandingan tersebut dapat dilihat yang pertama adalah lama waktu yang dibutuhkan, pada penggunaan *setting default* membutuhkan waktu kurang lebih sebesar 3 jam 27 menit, sedangkan dengan parameter kekasaran permukaan yang diprediksi membutuhkan waktu hanya sekitar 27 menit saja. Hal tersebut sangat berpengaruh dalam biaya pembuatannya. Berdasarkan perhitungan dan asumsi biaya yang dibutuhkan, parameter *default* membutuhkan biaya sebesar Rp 47.352 yang mana harga ini lebih mahal dibandingkan dengan parameter prediksi kekasaran permukaan yang hanya membutuhkan biaya sebesar Rp 45.699 sehingga memiliki selisih yang cukup besar. Oleh karena itu, dengan melihat perbandingan mulai dari lama waktu pencetakan, biaya, dan hasil uji parameter dapat diambil kesimpulan bahwa parameter prediksi keaksaran permukaan lebih optimal dibandingkan *setting default*.

Parameter optimal dihitung menggunakan metode MRSN yang mana akan diambil nilai terbesar dari 68 percobaan tersebut. Hasil akhirnya adalah diperoleh bahwa kondisi paling optimal dari variabel respon kekuatan Tarik dan kekasaran permukaan adalah pada *Trial* ke-64 dengan kombinasi level faktor A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2 yang berarti pencetakan terbaik pada parameter ketebalan lapisan sebesar 0,4 mm, suhu pencetakan 220^{o}C, jumlah *walls* sebanyak 2 wall, bentuk *infill* Hexagonal, kepadatan *infill* 80%, *Printing Speed* 80 mm/s, dan diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm. Kombinasi ini menghasilkan kekuatan Tarik spesimen sebesar 38.0495 Mpa dan kekasaran permukaan sebesar 2,444 µm. Karena karakteristik kualitas kekuatan Tarik spesimen adalah LTB dan karakteristik kualitas kekasaran permukaan STB maka kondisi optimal tersebut sangatlah

baik dikarenakan kekuatan Tarik spesimen awalnya adalah 15,992 Mpa menjadi 38,0495 Mpa. Sedangkan pada kekasaran permukaan memiliki kondisi awal adalah sebesar 20,224 µm menjadi 2,444 µm.

5.7 Validasi Expert

Berdasarkan hasil pengolahan data sebelumnya, didapatkan bahwa parameter yang memiliki kombinasi optimal adalah *Trial* ke-64. Sebelumnya, hasil didapatkan dengan menggunakan perhitungan regresi linear berganda yang mana artinya masih dalam asumsi dan membutuhkan validasi dari *expert*-nya. Sehingga berikut merupakan hasil dari pengujian ulang yang diujikan Bersama *expert* pada percobaan ke-64.



Tension testResult

Machine name	RTF	Test type	Tension
Strain input 1	Not used	Test speed	10.0 mm/min
Chart speed OFF		Machine rigidity	0 mm/kgf
Point data(Load)	0 0 0	Point data(Elong)	0 0 0
No	0 0 0	mm	0 0 0
Elastic modulus anal.	Interval 1 900	Initial sample length	Distance 50 mm
Load	Pitch 5 N	Origin of elongation	Start
Elong adjust	No	Break point measurem	0.5 N
Save SS curve	Yes		

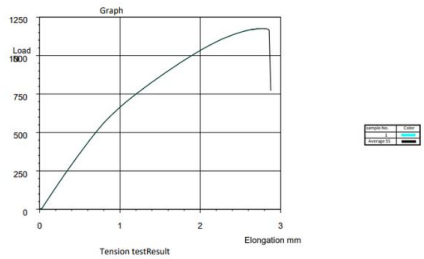
Test date	2023/04/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	8
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=499	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum point	Maximum point	Maximum point	Maximum point	Break point	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load N	Stress MPa	Strain %GL	Elongation mm	Load N	Stress MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1520.3	38.455	6.9138	3.5969	1517.7	38.428

TestID=499	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
Test No	Strain %GL	Elongation mm	Stress MPa	Stress MPa	MPa
1	6.8120	3.5540	38.455	*******	1213.3

Gambar 5. 4 Validasi Uji Tarik Replikasi 1

Berdasarkan hasil validasi diatas didapatkan bahwa kekuatan Tarik pada replikasi 1 sebesar 38,445 Mpa yang mana mendekati dari asumsi perhitungan menggunakan regresi linear berganda. Kemudian berikut merupakan hasil validasi dari replikasi 2 pengujian Tarik.



Machine name	RTF				Test type	Tension				
Strain input 1	Not used				Test speed	10.0 mm/min				
Chart speed OFF					Machine rigidity	0 mm/kgf				
Point data(Load)	0	0	0		Point data(Elong)	0	0	0		
N	0	0	0		mm	0	0	0		
Elastic modulus anal.	Interval	1	900		Initial sample length	Distance	50 mm			
Load	Pitch	5 N			Origin of elongation	Start				
Elong adjust	No				Break point measurem	0.5 N				
Save SS curve	Yes									

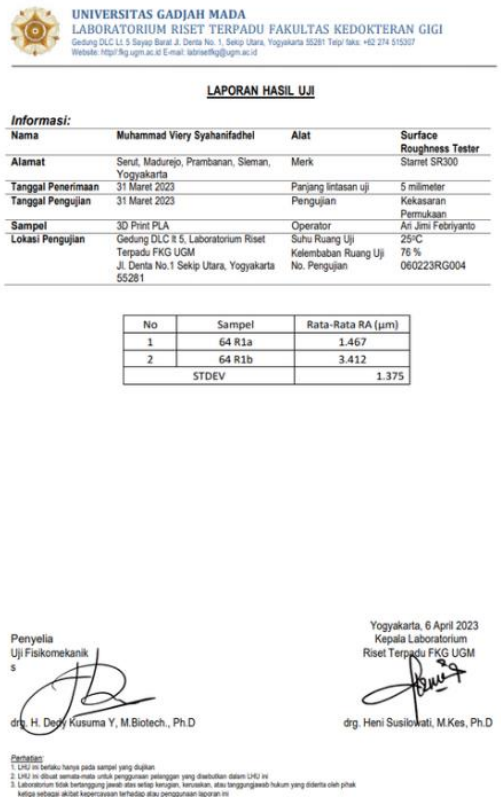
Test date	2023/04/05	Temperature	25 C	
Humidity	60 %RH	Sample name	7	
Lot No.		Preparation		
Operator	Bambang	User		
Comment 1		Comment 2		

TestID=498	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum point	Maximum point	Maximum point	Maximum point	Break point	Break point
Test No.	mm	mm	mm2	Load N	Stress MPa	Strain %GL	Elongation mm	Load N	Stress MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1189.9	37.412	5.5158	2.8629	1194.3	37.399

TestID=498	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
Test No.	Strain %GL	Elongation mm	Stress MPa	Stress MPa	MPa
1	5.5957	2.8629	37.412	*******	1251.0

Gambar 5. 5 Validasi Expert Uji Tarik Replikasi 2

Berdasarkan hasil validasi diatas didapatkan bahwa kekuatan Tarik pada replikasi 1 sebesar 37,412 Mpa yang mana mendekati dari asumsi perhitungan menggunakan regresi linear berganda. Kemudian berikut merupakan hasil validasi dari replikasi 2 pengujian Tarik. Validasi juga dilakukan untuk pengujian kekasaran permukaan, berikut merupakan validasi kekasaran permukaan untuk replikasi 1 dan replikasi 2.



UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM RISET TERPADU FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
Gedung DLC Lt. 5 Sayap Barat Jl. Denta No. 1, Sekip Utara, Yogyakarta 55281 Telp/ faks. +62 274 515307
Website: http://flg.ugm.ac.id E-mail: labriseffkg@ugm.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

Informasi:

Nama	**Muhammad Viery Syahanifadhel**	**Alat**	**Surface Roughness Tester**
Alamat	Serut, Madurejo, Prambanan, Sleman, Yogyakarta	Merk	Starret SR300
Tanggal Penerimaan	31 Maret 2023	Panjang lintasan uji	5 milimeter
Tanggal Pengujian	31 Maret 2023	Pengujian	Kekasaran Permukaan
Sampel	3D Print PLA	Operator	Ari Jimi Febriyanto
Lokasi Pengujian	Gedung DLC lt 5, Laboratorium Riset Terpadu FKG UGM Jl. Denta No.1 Sekip Utara, Yogyakarta 55281	Suhu Ruang Uji Kelembaban Ruang Uji No. Pengujian	25°C 76 % 060223RG004

No	Sampel	Rata-Rata RA (µm)
1	64 R1a	1.467
2	64 R1b	3.412
STDEV		1.375

Penyelia
Uji Fisikomekanik
s

drg. H. Dedy Kusuma Y, M.Biotech., Ph.D

Yogyakarta, 6 April 2023
Kepala Laboratorium
Riset Terpadu FKG UGM

drg. Heni Susilowati, M.Kes, Ph.D

Perhatian:
1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini
3. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan, atau tanggungjawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini

Gambar 5. 6 Validasi Expert Uji Kekasaran Permukaan

Berdasarkan hasil validasi diatas didapatkan bahwa kekasaran permukaan memiliki nilai pada replikasi 1 sebesar 1,467 µm dan replikasi 2 sebesar 3,412 µm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai hampir sama dengan nilai pada regresi linear berganda sebelumnya. Berdasarkan validasi *expert* diatas dapat disimpulkan bahwa hasil akhir yaitu berupa *Trial* ke-64 sudah valid dan terverifikasi.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kombinasi level faktor parameter yang menghasilkan kualitas produk yang optimal diperoleh pada *Trial* ke 64 dengan kombinasi parameter A2, B2, C1, D2, E2, F2, G2 yang berarti pencetakan terbaik pada parameter ketebalan lapisan sebesar 0,4 mm, suhu pencetakan 220^{o}C, jumlah *walls* sebanyak 2 wall, bentuk *infill* Hexagonal, kepadatan *infill* 80%, *Printing Speed* 80 mm/s, dan diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm.
2. Pada kombinasi level faktor parameter terbaik pada *Trial* ke 64 membutuhkan biaya sebesar Rp 45.699,- Biaya tersebut merupakan biaya termurah dibandingkan dengan *setting* awal yang membutuhkan biaya sebesar Rp 47.352 (turun sebesar Rp 1.653).

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, berikut merupakan saran yang ditujukan bagi penelitian selanjutnya :

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pencetakan spesimen dengan lebih banyak percobaan atau *Trial* sesuai dengan matriks orthogonal dikarenakan memiliki lebih banyak variasi dalam parameter dan hasil uji yang realistis serta beragam.

2. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu melakukan penelitian dengan variabel respon yang berbeda. Hal ini bertujuan agar penelitian selanjutnya mengetahui parameter yang optimal dengan macam-macam variabel respon yang diteliti. Variabel respon yang diteliti bisa tetap sama yaitu dua variabel respon atau lebih sehingga peneliti bisa mengetahui parameter yang cocok untuk variabel respon yang bervariasi.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu melakukan variasi terhadap faktor yang mempengaruhi variabel respon. Karena variabel respon tertentu tentu saja dipengaruhi oleh faktor yang berbeda-beda pula. Sehingga dapat diketahuinya apakah faktor yang dipilih memiliki pengaruh terhadap variabel respon yang dipilih.

DAFTAR PUSTAKA

Adji, R., Wan Sen, T., & Ali Sutisna, N. (2021). Pengembangan Material Campuran Beton untuk Perencanaan Protipe Mesin 3D *Printer* Rumah Sebagai Alternatif Pembangunan Rumah yang Lebih Efisien. *Media Teknik Sipil*, *19*(2), 105–115. https://doi.org/10.22219/jmts.v19i2.17451

Agus Pamasaria, H., & Hannanto Saputra, T. (2020). *Optimasi Parameter 3D Printing Tipe FDM Terhadap Akurasi Dimensi Dengan Filamen Berbahan Daur Ulang Plastik HDPE*. *XIX*(2).

Alafaghani, A., & Qattawi, A. (2018). Investigating the effect of fused deposition modeling processing parameters using Taguchi design of experiment method. *Journal of Manufacturing Processes*, *36*, 164–174. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.09.025

Arifsa, F. B., & Prastowo, A. (2019). APPLICATION OF TAGUCHI METHOD IN THE OPTIMIZATION OF 3D-*PRINTER* PROCESS PARAMETERS FOR DIMENSIONAL ACCURACY AND SURFACE ROUGHNESS. *Journal of Manufacturing Technology Research*, *11*, 1–2.

Armstrong, M., Mehrabi, H., & Naveed, N. (2022). An overview of modern metal additive manufacturing technology. *Journal of Manufacturing Processes*, *84*, 1001–1029. https://doi.org/10.1016/J.JMAPRO.2022.10.060

Awasthi, P., & Banerjee, S. S. (2021). Fused deposition modeling of thermoplastic elastomeric materials: Challenges and opportunities. In *Additive Manufacturing* (Vol. 46). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102177

Budiman, H. (2016). *ANALISIS PENGUJIAN TARIK (TENSILE TEST) PADA BAJA ST37 DENGAN ALAT BANTU UKUR LOAD CELL*.

Cano-Vicent, A., Tambuwala, M. M., Hassan, S. S., Barh, D., Aljabali, A. A. A., Birkett, M., Arjunan, A., & Serrano-Aroca, Á. (2021). Fused deposition modelling: Current status, methodology, applications and future prospects. In *Additive Manufacturing* (Vol. 47). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102378

Darsin, M., Mauludy, R. R., Hardiatama, I., Fachri, B. A., Ramadhan, M. E., & Parningotan, D. (2022). Analysis of the effect 3D *Printing* parameters on tensile strength using Copper-PLA filament. *SINERGI*, *26*(1), 99. https://doi.org/10.22441/sinergi.2022.1.013

Dey, A., & Yodo, N. (2019). A systematic survey of FDM process parameter optimization and their influence on part characteristics. In *Journal of Manufacturing and Materials Processing* (Vol. 3, Issue 3). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. https://doi.org/10.3390/jmmp3030064

Dwiyati, S. T., Kholil, A., Riyadi, R., & Putra, S. E. (2019). Influence of layer thickness and 3D *Printing* direction on tensile properties of ABS material. *Journal of Physics: Conference Series*, *1402*(6). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/6/066014

Fadhil Alani, T., Basil Ali, H., Fadhil Abbas, T., & Mohammad Othman, F. (2008). Influence of Layer Thickness on Impact Property of 3D-Printed PLA. *International Research Journal of Engineering and Technology*, *9001*. https://www.researchgate.net/publication/322952290

Gunawan, R. (2020). *Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing*. *11*, 15–19. https://www.trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/mesin

Habibil Rizka, B. (2022). *PENGARUH PARAMETER CETAK 3D PRINTING TERHADAP KEKUATAN BENDING FILAMEN POLYLACTIC ACID THE INFLUENT OF 3D PRINTING PARAMETERS ON BENDING STRENGTH OF POLYLACTIC ACID FILAMENT*. *4*(4). http://vomek.ppj.unp.ac.id

Hakim, R., Saputra, I., Prabowo Utama, G., & Setyoadi, Y. (2019). PENGARUH TEMPERATUR NOZZLE DAN BASE PLATE PADA MATERIAL PLA TERHADAP NILAI MASA JENIS DAN KEKASARAN PERMUKAAN PRODUK PADA MESIN LEAPFROG CREATR 3D *PRINTER*. In *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)* (Vol. 1, Issue 1). http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA,https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA

Handayani, D., & Ningsih, U. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM]. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, *X*(3), 143–149.

Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Taiwan Association of System Science and Engineering, IEEE Systems, M., & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *Proceedings, 2017 International Conference on System Science and Engineering : ICSSE : July 21-23, 2017, Ho Chi Minh City, Vietnam*.

Jurusan Matematika, D., & Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, M. (n.d.). *APLIKASI METODE TAGUCHI DALAM PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI*.

Kafshgar, A. R., Rostami, S., Aliha, M. R. M., & Berto, F. (2021). Optimization of Properties for 3D Printed PLA Material Using Taguchi, ANOVA and Multi-Objective Methodologies. *Procedia Structural Integrity*, *34*, 71–77. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.12.011

KEPUTUSAN SISTEM PERAWATAN Jani Rahardjo, P., Rahardjo, J., Stok, R. E., & Yustina, R. (n.d.). *PENERAPAN MULTI-CRITERIA DECISRION MAKING*

DALAM PENERAPAN MULTI-CRITERIA DECISION MAKING DALAM PENGAMBILAN KEPUTUSAN SISTEM PERAWATAN. http://puslit.petra.ac.id/journals/indus*Trial*

Kothari, P., Parate, G., Kulkarni, C., Soitkar, N., & Khot, G. (2021). Review on 3D *Printing* and its Applications in Engineering. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET) | An ISO*, *10*(10), 13462. https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2021.1010011

Kumara, S., Putra, S., Ds, M. A., Sari, R., & Ds, S. (2018). *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018 SENSITEK 2018 STMIK Pontianak* (Vol. 12). http://www.insinyoer.com/wp-

Madhav, V. C., & Narayan Yeole, S. (n.d.). *Relative Studies on ASTM D638 Type-IV Specimens 3D Printed using ABS Material*. https://www.researchgate.net/publication/327703890

Mahmood, S., Qureshi, A. J., & Talamona, D. (2018). Taguchi based process optimization for dimension and tolerance control for fused deposition modelling. *Additive Manufacturing*, *21*, 183–190. https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.03.009

Miazio, Ł. (2019). Impact of Print Speed on Strength of Samples Printed in FDM Technology. *Agricultural Engineering*, *23*(2), 33–38. https://doi.org/10.1515/agriceng-2019-0014

Mufarrih, AM., Hariyanto, Moh. N., & Qosim, N. (2020). Analisa Kekasaran Permukaan Titanium Grade 2 pada Proses Frais. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, *8*(2), 53. https://doi.org/10.23887/jptm.v8i2.27766

Mustapha, K. B., & Metwalli, K. M. (2021a). A review of fused deposition modelling for 3D *Printing* of smart polymeric materials and composites. In *European Polymer Journal* (Vol. 156). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110591

Mustapha, K. B., & Metwalli, K. M. (2021b). A review of fused deposition modelling for 3D *Printing* of smart polymeric materials and composites. In *European Polymer Journal* (Vol. 156). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110591

Nugroho, A. W., & Mahardika, A. H. (2019). Improving the tensile properties of 3D printed PLA by optimizing the processing parameter. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, *4*(1).

Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021a). EKSTRUKSI DAN KARAKTERISASI FILAMEN KOMPOSIT POLYLACTID ACID (PLA) / CARBON NANO TUBE (CNT). *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, *2*(2), 12. https://doi.org/10.22146/jmtp.70481

Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021b). EKSTRUKSI DAN KARAKTERISASI FILAMEN KOMPOSIT POLYLACTID ACID (PLA) / CARBON NANO TUBE (CNT). *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, *2*(2), 12. https://doi.org/10.22146/jmtp.70481

Pandaleke, R. E., & Windah, R. S. (2017). PERBANDINGAN UJI TARIK LANGSUNG DAN UJI TARIK BELAH BETON. *Jurnal Sipil Statik*, *5*(10), 649–666.

Pandzic, A., Hodzic, D., & Milovanovic, A. (2019). Effect of *infill* type and density on tensile properties of pla material for fdm process. *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*, *30*(1), 545–554. https://doi.org/10.2507/30th.daaam.proceedings.074

Prihadianto, B. D., & Darmo, S. (2021). APLIKASI TEKNOLOGI 3D *PRINTER* DALAM RANGKA PENGEMBANGAN PEMBUATAN KOMPONEN MINIATUR DI KARANG TARUNA DUSUN BENDUNGAN. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, *4*(1), 57. https://doi.org/10.28989/kacanegara.v4i1.739

Rajamani, D., Balasubramanian, E., & Yang, L. J. (2022). Enhancing the Surface Quality of FDM Processed Flapping Wing Micro Mechanism Assembly through RSM–TOPSIS Hybrid Approach. *Processes*, *10*(11). https://doi.org/10.3390/pr10112457

Rusianto, T., Huda, S., Hary Wibowo, dan, Kalisahak No, J., & Balapan Yogyakarta, K. (n.d.). *A RIVIEW: JENIS DAN PENCETAKAN 3D (3D PRINTING) UNTUK PEMBUATAN PROTOTIPE*. https://aaq.auburn.edu/node/9907/take

Salsana, B., Siboro, B. A., Manik, Y., Studi, P., & Rekayasa, M. (2022). A R T I C L E I N F O Asesmen Teknologi untuk Mesin 3D *Printer* di Laboratorium Desain Produk dan Inovasi. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *11*, 106–116. https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v11i1

Setyawan, B. A., & Ngadiyono, Y. (n.d.). *ANALISIS PENGARUH TINGKAT KELEMBABAN FILAMEN PLA TERHADAP NILAI KEKUATAN MEKANIK HASIL CETAK 3D PRINTING*. https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/2267

Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D *Printing* technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, *35*, 1286–1296. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089

Sirwansyah Suzen, Z., Mesin, T., & Manufaktur Bangka Belitung, P. (2021). Pengaruh Geometri *Infill* terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV

Menggunakan Filamen PLA+ Sugoi. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Issue 2). https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa

Taufik, I., Santosa Budiono, H., Andriyansyah, D., & Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, J. (2020). PENGARUH *PRINTING* SPEED TERHADAP TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN HASIL ADDITIVE MANUFACTURING DENGAN POLYLACTIC ACID FILAMENT. In *Journal of Mechanical Engineering* (Vol. 4, Issue 2).

Teknik Mesin, S., & Manufaktur Negeri Bangka Belitung, P. (2021). Pengaruh Setting Parameter pada Slicing Software terhadap Surface Roughness Objek 3D *Printing* Menggunakan Metode Taguchi. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Issue 3). https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa

Teknologi Pendidikan, J., & Gunawan Sakti, H. (2019). *PENGARUH PENERAPAN MEDIA TUTORIAL AUTOCAD TERHADAP KREATIVITAS BELAJAR SISWA KELAS XI JURUSAN TKJ*. *4*.

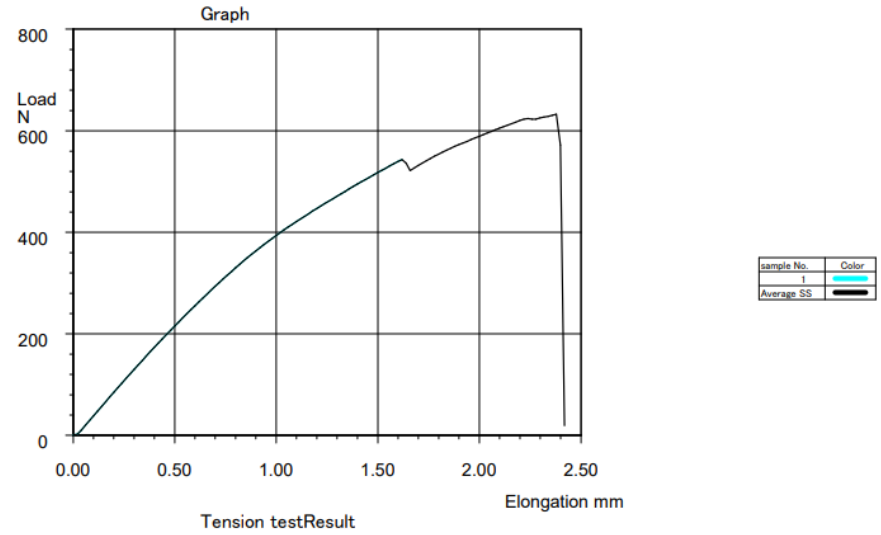
Vyavahare, S., Teraiya, S., Panghal, D., & Kumar, S. (2020). Fused deposition modelling: a review. In *Rapid Prototyping Journal* (Vol. 26, Issue 1, pp. 176–201). Emerald Group Holdings Ltd. https://doi.org/10.1108/RPJ-04-2019-0106

Wankhede, V., Jagetiya, D., Joshi, A., & Chaudhari, R. (2019). Experimental investigation of FDM process parameters using Taguchi analysis. *Materials Today: Proceedings*, *27*, 2117–2120. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.078

Wu, L., Park, J., Kamaki, Y., & Kim, B. (2021). Optimization of the fused deposition modeling-based fabrication process for polylactic acid microneedles. *Microsystems and Nanoengineering*, *7*(1). https://doi.org/10.1038/s41378-021-00284-9

LAMPIRAN

A- Hasil Uji Tarik Replikasi 1



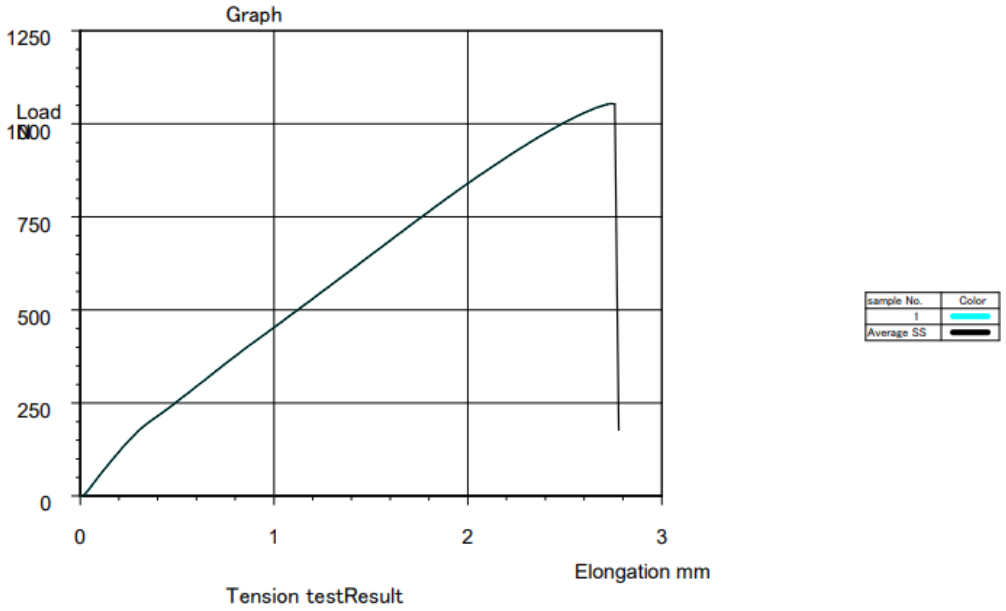
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measuren	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 1
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=244	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	632.25	16.860	4.7574	2.3787	542.73	14.473

TestID=244	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	3.2380	1.6190	14.473	13.900	618.19

A- Hasil Uji Tarik Replikasi 1



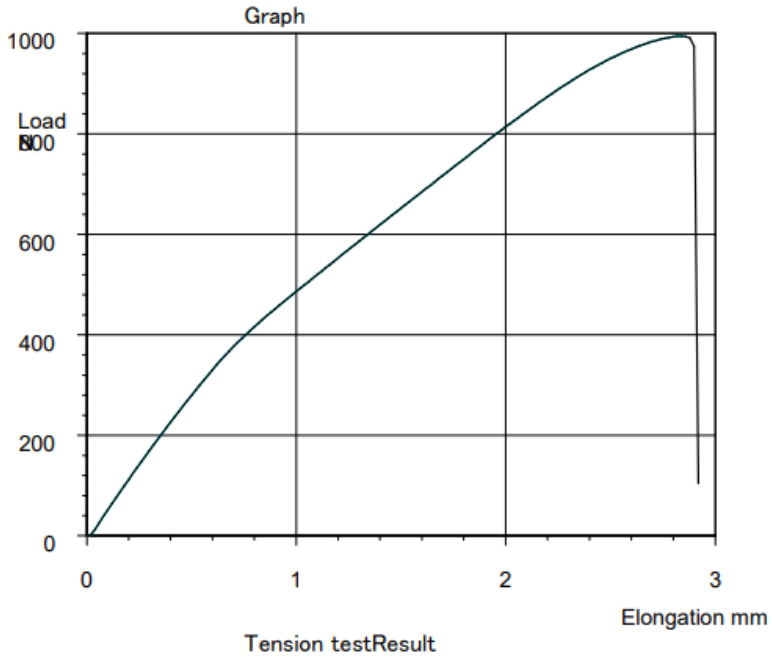
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 2
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=245	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	1053.5	28.094	5.4761	2.7381	1052.4	28.064

TestID=245	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.5162	2.7581	*******	*******	898.06

A - Hasil Uji Tarik Replikasi 1



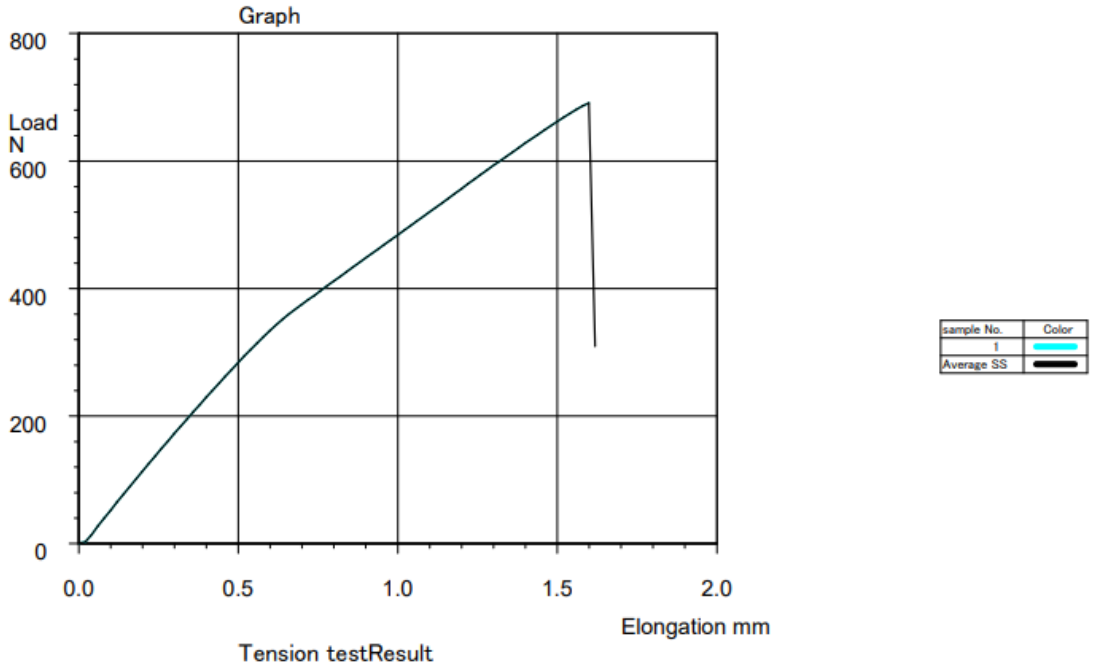
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 3
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=246	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	994.09	26.509	5.6776	2.8388	993.45	26.492

TestID=246	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.7176	2.8588	26.509	*******	825.72

A - Hasil Uji Tarik Replikasi 1



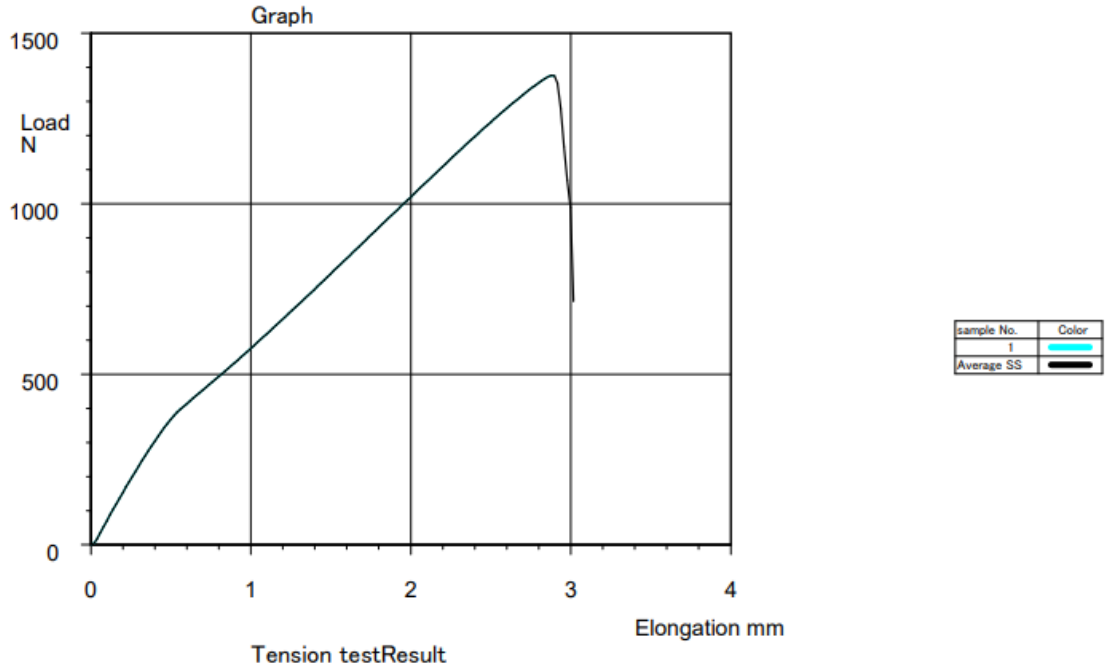
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 4
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=247	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	690.50	18.413	3.1976	1.5988	690.50	18.413

TestID=247	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	3.1976	1.5988	*******	*******	830.07

A - Hasil Uji Tarik Replikasi 1



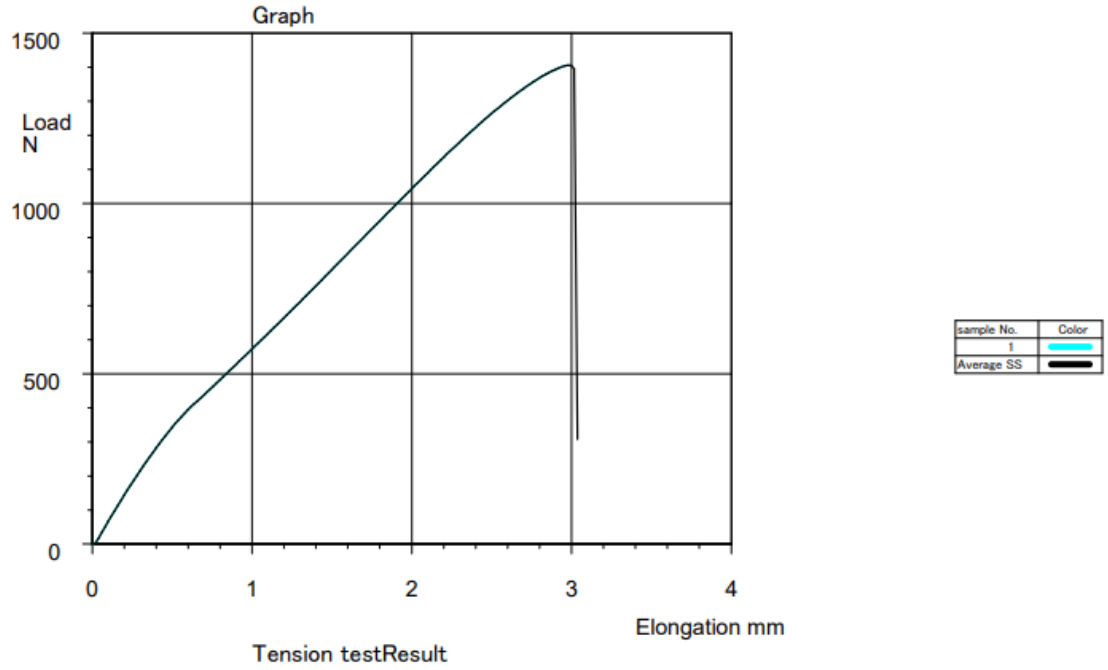
Machine name	RTF			Test type	Tension				
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min				
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf				
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0		
N	0	0	0	mm	0	0	0		
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm			
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start				
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N				
Save SS curve	Yes								

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 5
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=248	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	1375.5	36.679	5.7556	2.8778	1373.8	36.635

TestID=248	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.7957	2.8978	36.679	*******	1131.6

A - Hasil Uji Tarik Replikasi 1



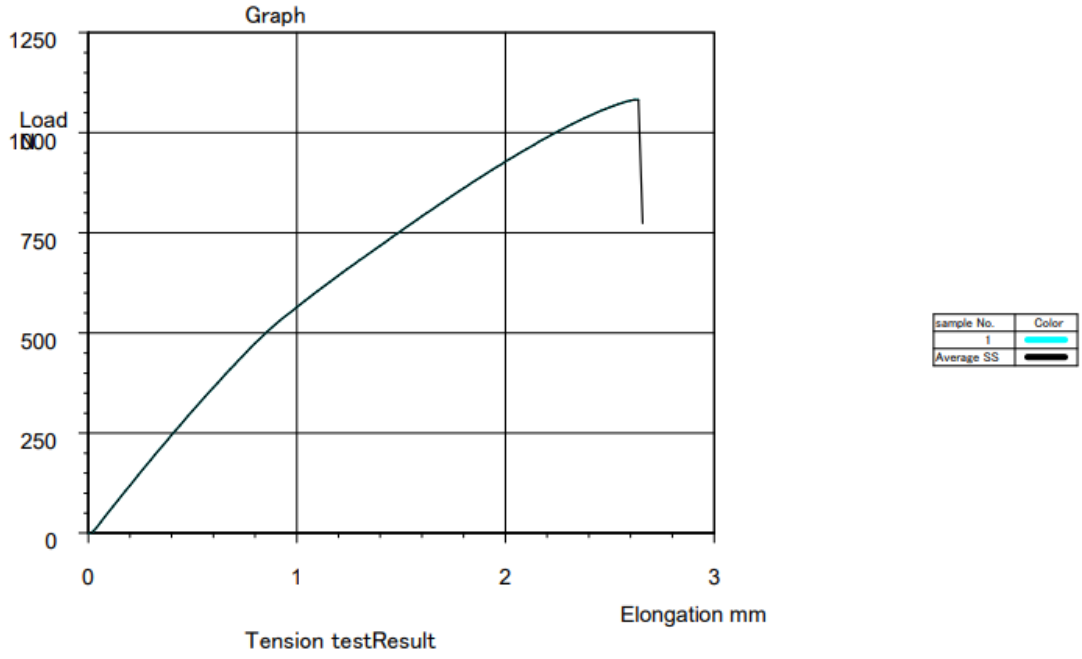
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 6
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=249	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	1405.2	37.473	5.9548	2.9774	1405.0	37.466

TestID=249	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.9947	2.9974	37.473	*******	1054.8

A - Hasil Uji Tarik Replikasi 1



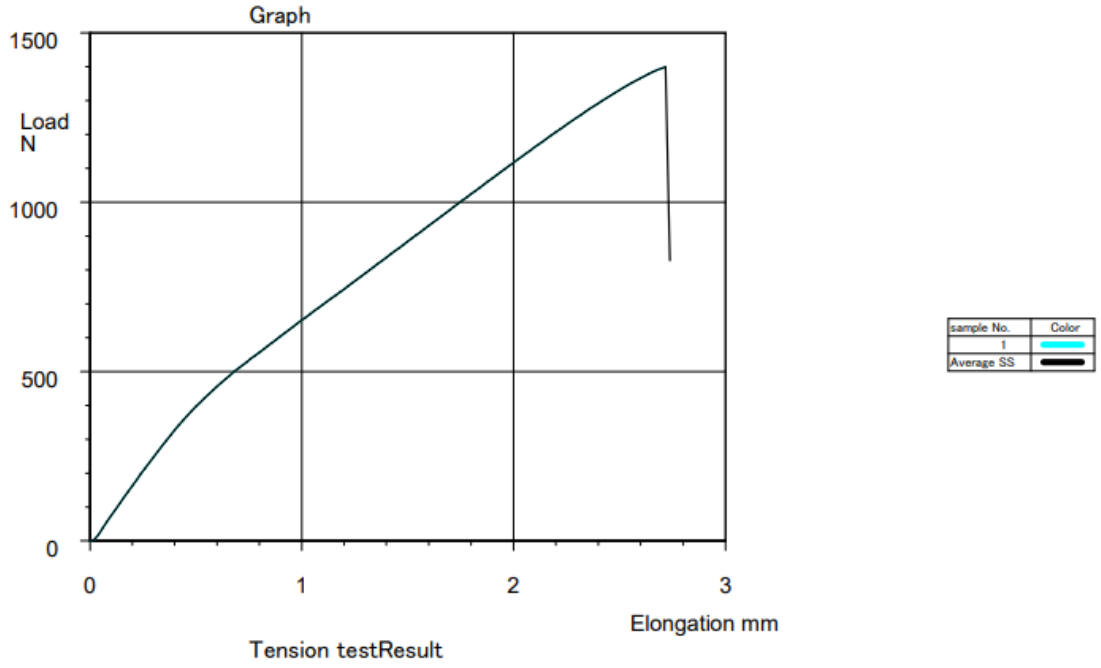
Machine name	RTF			Test type	Tension				
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min				
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf				
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0		
N	0	0	0	mm	0	0	0		
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm			
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start				
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N				
Save SS curve	Yes								

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 7
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=250	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	1081.8	28.847	5.2756	2.6378	1081.8	28.847

TestID=250	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.2756	2.6378	*******	*******	876.24

A - Hasil Uji Tarik Replikasi 1



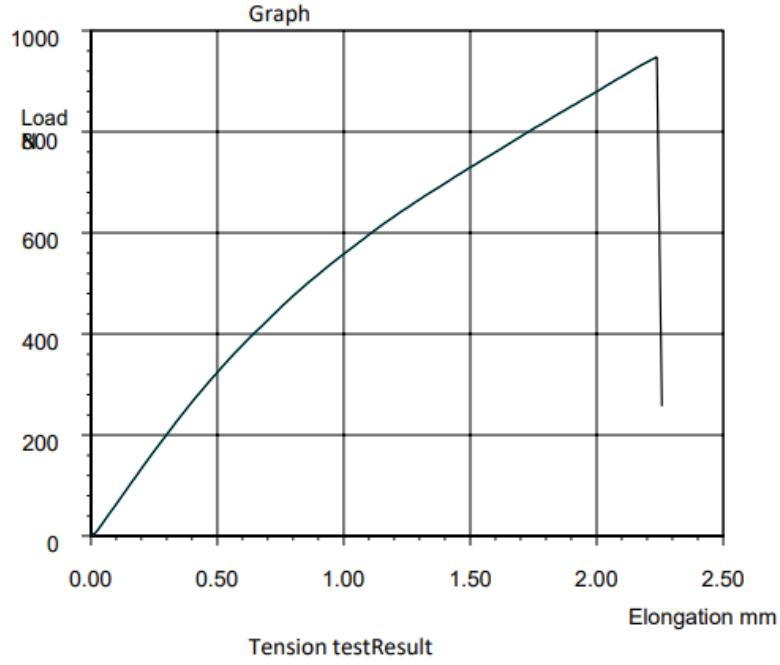
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measuren	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2022/12/18	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	Speck 8
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=251	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.500	3.0000	37.500	1398.4	37.291	5.4359	2.7179	1398.4	37.291

TestID=251	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.4359	2.7179	*******	*******	1208.0

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



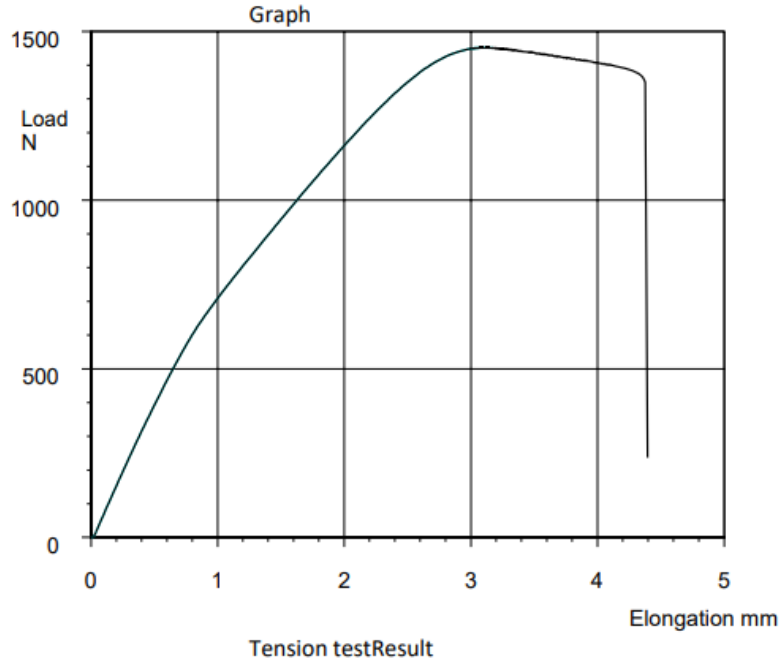
Machine name	RTF			Test type	Tension		
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min		
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0
N	0	0	0	mm	0	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm	
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start		
Elong adjust	No			Break point measuren	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	A7_1
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=492	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load N	Stress MPa	Strain %GL	Elongation mm	Load N	Stress MPa
1	12.590	3.0000	37.770	947.49	17.086	4.4771	2.2386	947.49	25.086

TestID=492	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
Test No	Strain %GL	Elongation mm	Stress MPa	Stress MPa	MPa
1	4.4771	2.2386	*******	*******	928.10

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



sample No.	Color
1	
Average SS	

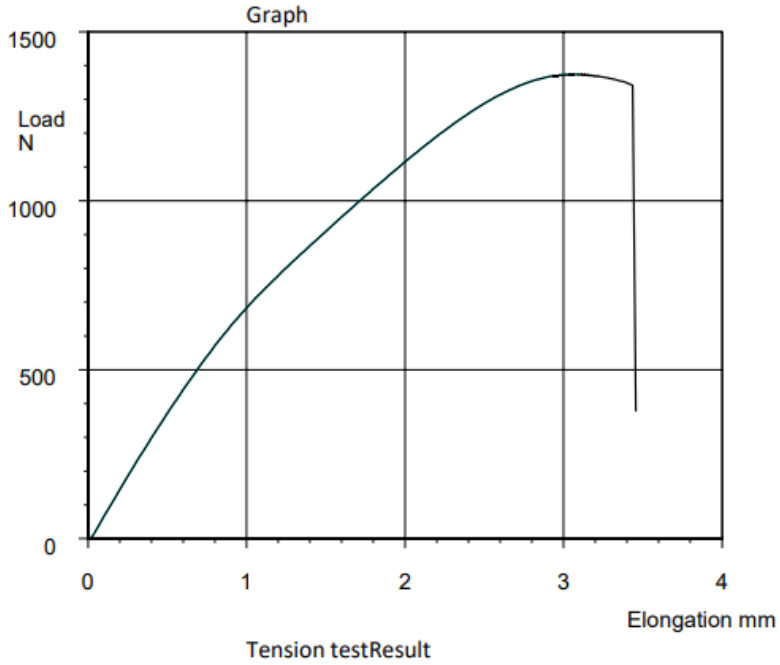
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measuren	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	2
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=493	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load N	Stress MPa	Strain %GL	Elongation mm	Load N	Stress MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1451.0	28.418	6.1946	3.0973	1450.4	38.401

TestID=493	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
Test No	Strain %GL	Elongation mm	Stress MPa	Stress MPa	MPa
1	6.3548	3.1774	38.418	*******	1122.1

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



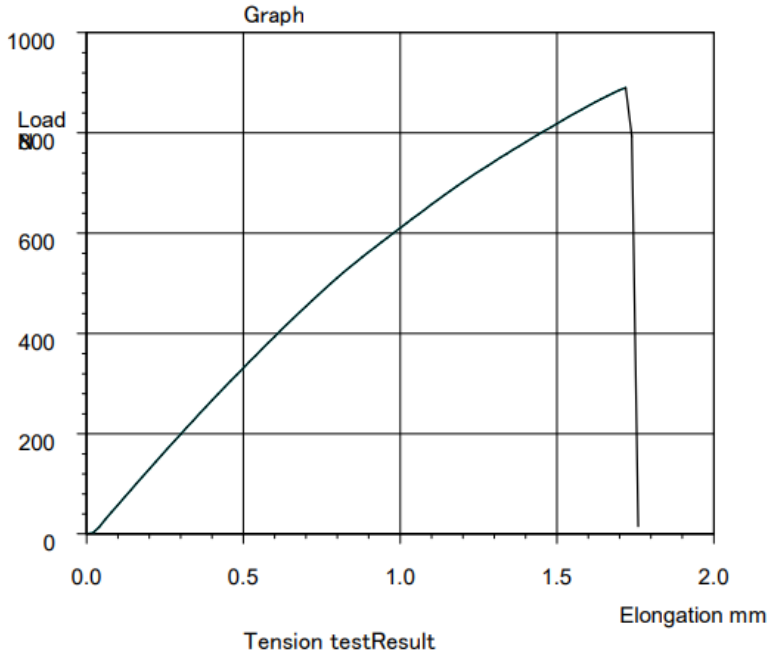
Machine name	RTF			Test type	Tension		
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min		
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0
N	0	0	0	mm	0	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm	
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start		
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	3
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=494	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
Test No	mm	mm	mm2	Load N	Stress MPa	Strain %GL	Elongation mm	Load N	Stress MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1373.2	27.357	6.1548	3.0774	1373.2	36.356

TestID=494	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
Test No	Strain %GL	Elongation mm	Stress MPa	Stress MPa	MPa
1	6.1946	3.0973	36.357	*******	1070.8

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



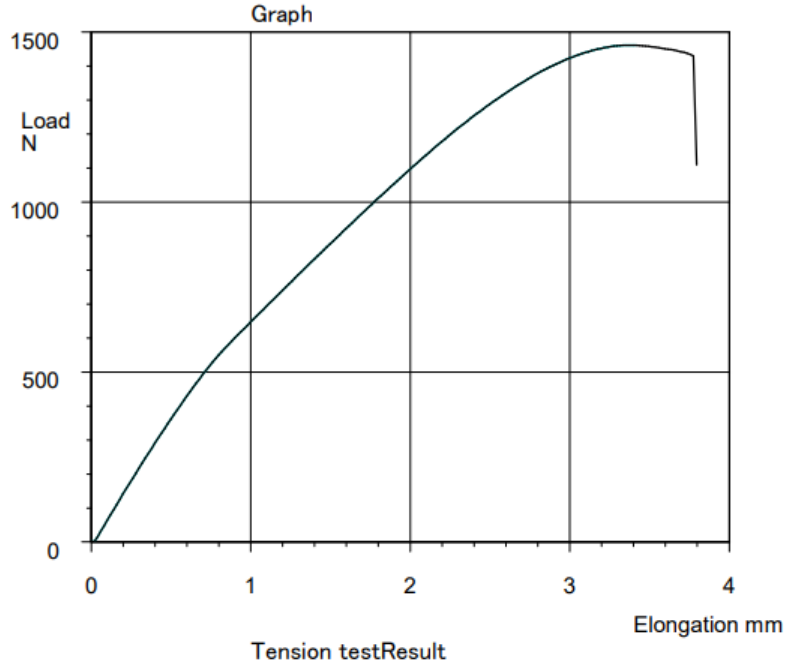
Machine name	RTF			Test type	Tension		
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min		
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf		
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0
N	0	0	0	mm	0	0	0
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm	
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start		
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N		
Save SS curve	Yes						

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	4
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=495	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.590	3.0000	37.770	889.88	23.561	3.4385	1.7192	889.88	23.561

TestID=495	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	3.4385	1.7192	*******	*******	946.36

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



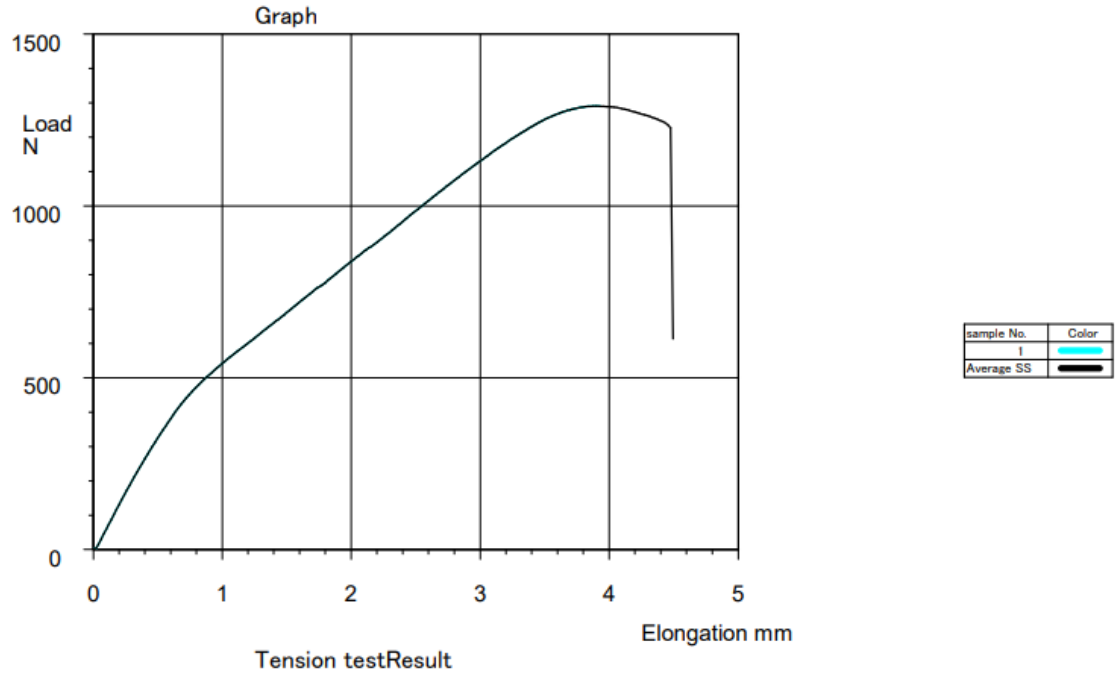
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	5
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=496	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1460.9	38.679	6.7132	3.3566	1460.4	38.666

TestID=496	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	6.8330	3.4165	38.679	*******	1041.4

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



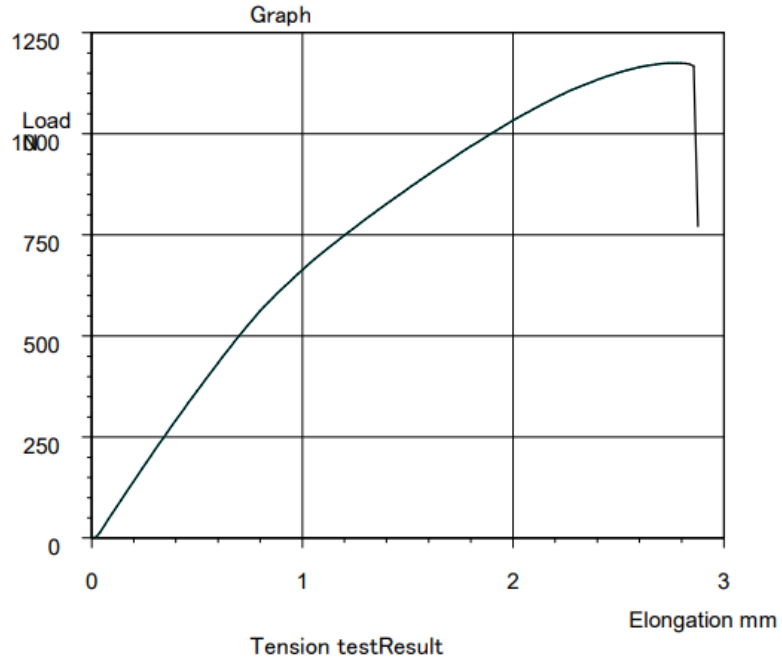
Machine name	RTF			Test type	Tension				
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min				
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf				
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0		
N	0	0	0	mm	0	0	0		
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm			
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start				
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N				
Save SS curve	Yes								

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	6
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=497	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1289.9	34.152	7.8322	3.9161	1289.6	34.143

TestID=497	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	7.8722	3.9361	34.152	*******	959.75

B- Hasil Uji Tarik Replikasi 2



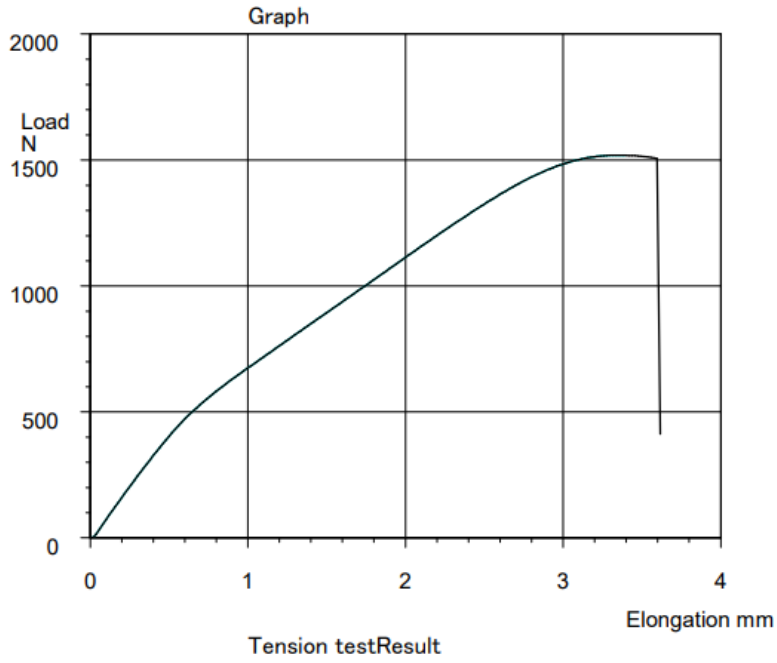
Machine name	RTF			Test type	Tension			
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min			
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf			
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0	
N	0	0	0	mm	0	0	0	
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm		
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start			
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N			
Save SS curve	Yes							

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	7
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=498	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1174.6	31.098	5.5158	2.7579	1174.3	31.091

TestID=498	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	5.5957	2.7978	31.098	*******	1051.0

B - Hasil Uji Tarik Replikasi 2



Machine name	RTF			Test type	Tension				
Strain input 1	Not used			Test speed	10.0 mm/min				
Chart speed OFF				Machine rigidity	0 mm/kgf				
Point data(Load)	0	0	0	Point data(Elong)	0	0	0		
N	0	0	0	mm	0	0	0		
Elastic modulus anal.	Interval	1	900	Initial sample length	Distance	50 mm			
Load	Pitch	5 N		Origin of elongation	Start				
Elong adjust	No			Break point measurem	0.5 N				
Save SS curve	Yes								

Test date	2023/02/05	Temperature	25 C
Humidity	60 %RH	Sample name	8
Lot No.		Preparation	
Operator	Bambang	User	
Comment 1		Comment 2	

TestID=499	Width	Thickness	Sectional ar	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Maximum poin	Break point	Break point
				Load	Stress	Strain	Elongation	Load	Stress
Test No	mm	mm	mm2	N	MPa	%GL	mm	N	MPa
1	12.590	3.0000	37.770	1518.1	40.193	6.7138	3.3569	1517.7	40.184

TestID=499	Break point	Break point	Upper yield	Lower yield	Elastic modu
	Strain	Elongation	Stress	Stress	
Test No	%GL	mm	MPa	MPa	MPa
1	6.7940	3.3970	40.193	*******	1191.3

C - Hasil Uji Kekasaran Permukaan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM RISET TERPADU FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
Gedung DLC Lt. 5 Sayap Barat Jl. Denta No. 1, Sekip Utara, Yogyakarta 55281 Telp/ faks: +62 274 515307
Website: http//:fkg.ugm.ac.id E-mail: labrisetfkg@ugm.ac.id

LAPORAN HASIL UJI

Informasi:

Nama	**Muhammad Viery Syahanifadhel**	**Alat**	**Surface Roughness Tester**
Alamat	Serut, Madurejo, Prambanan, Sleman, Yogyakarta	Merk	Starret SR300
Tanggal Penerimaan	6 Februari 2023	Panjang lintasan uji	5 milimeter
Tanggal Pengujian	6 Februari 2023	Pengujian	Kekasaran Permukaan
Sampel	3D Print PLA	Operator	Ari Jimi Febriyanto
Lokasi Pengujian	Gedung DLC lt 5, Laboratorium Riset Terpadu FKG UGM Jl. Denta No.1 Sekip Utara, Yogyakarta 55281	Suhu Ruang Uji Kelembaban Ruang Uji No. Pengujian	25^{0}C 76 % 060223RG003

No	Sampel	Rata-Rata RA (µm)
1	1 R1a	18.73
2	1 R1b	22.13
3	2 R1a	7.00
4	2 R1b	8.97
5	3 R1a	10.77
6	3 R1b	9.20
7	4 R1a	8.37
8	4 R1b	7.80
9	5 R1a	13.73
10	5 R1b	15.07
11	6 R1a	9.17
12	6 R1b	10.50
13	7 R1a	5.63
14	7 R1b	8.30
15	8 R1a	9.87
16	8 R1b	11.70
STDEV		4.64

Yogyakarta, 14 Februari 2023

Penyelia
Uji Fisikomekanik
s

drg. H. Dedy Kusuma Y, M.Biotech., Ph.D

Kepala Laboratorium
Riset Terpadu FKG UGM

drg. Heni Susilowati, M.Kes, Ph.D

Perhatian:
1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini
3. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan, atau tanggungjawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini