PRARANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK*

DARI GAS ALAM DENGAN KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia

Oleh:

Nama : Marciello Agisto Pramudya
NIM : 22521031

Nama : Ghea Febriani Sanova
NIM : 22521083

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK*

DARI GAS ALAM DENGAN KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Marciello Agisto Pramudya	**Nama : Ghea Febriani Sanova**
NIM : 22521031	**NIM : 22521083**

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Menyatakan bahwa seluruh hasil Prarancangan Pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Marciello Agisto Pramudya



Ghea Febriani Sanova

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK* DARI GAS ALAM DENGAN KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Marciello Agisto Pramudya
NIM : 22521031

Nama : Ghea Febriani Sanova
NIM : 22521083

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Pembimbing,



Dr. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng.
NIK. 155210506

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK* DARI GAS ALAM DENGAN KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN

Oleh:

Nama : Marciello Agisto Pramudya **Nama : Ghea Febriani Sanova**

NIM : 22521031 **NIM : 22521083**

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 1 Juli 2026

Tim Penguji,

Dr. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng.
Ketua Penguji

Dr. Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M.Eng.
Penguji 1

3/7/26

Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng.
Penguji 2

2/7/26

Mengetahui:
Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. IPM, ASEAN Eng.
NIK. 995200445

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul "PRARANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK* DARI GAS ALAM DENGAN KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN" ini dengan baik dan tepat waktu. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis telah banyak menerima bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi yang tiada henti.
3. Bapak Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia sekaligus Dosen Pembimbing Tugas Akhir atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan.

5. Serta semua pihak yang terlibat yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi semua pihak yang membutuhkan.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur senantiasa saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, serta kemudahan yang telah diberikan. Di tengah berbagai tantangan, kelelahan, dan proses panjang yang penuh pembelajaran, akhirnya saya dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik ini. Penyelesaian karya ini menjadi salah satu pencapaian penting dalam perjalanan saya menempuh pendidikan selama delapan semester, sekaligus menjadi langkah awal untuk menghadapi perjalanan dan tantangan baru di masa depan.

Perjalanan ini tentu tidak saya lalui seorang diri. Banyak sosok yang senantiasa hadir memberikan doa, dukungan, semangat, motivasi, serta bantuan dalam setiap proses yang saya jalani. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur, hormat, dan kasih, tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Orangtua saya, Mami dan Papi, Terima kasih untuk setiap doa yang tidak pernah putus, setiap pengorbanan yang sering kali tidak terlihat, serta cinta yang selalu hadir tanpa syarat. Terima kasih karena selalu percaya pada saya, bahkan di saat saya meragukan diri sendiri. Di balik setiap proses, kelelahan, tekanan, dan air mata selama perjalanan kuliah ini, selalu ada Mami dan Papi yang menjadi alasan terbesar saya untuk tetap kuat dan terus melangkah. Tugas akhir ini bukan hanya tentang keberhasilan saya, tetapi juga tentang segala perjuangan, kesabaran, dan kasih sayang yang telah kalian berikan selama ini. Semoga pencapaian ini dapat menjadi salah satu hal yang membanggakan dan

sebagai bentuk terima kasih atas semua yang telah Mami dan Papi perjuangkan untuk saya.

2. Ibu Ifa Puspasari S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir kami. Terima kasih atas segala waktu, ilmu, arahan, kesabaran, serta perhatian yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih karena telah membimbing saya dalam setiap proses, mulai dari tahap awal hingga akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan. Setiap masukan, kritik, dan saran yang diberikan menjadi pembelajaran yang sangat berharga bagi saya, tidak hanya dalam penyusunan tugas akhir, tetapi juga dalam membentuk cara berpikir dan sikap saya ke depannya. Saya menyadari bahwa tanpa bimbingan dan dukungan dari Ibu, proses ini tidak akan berjalan dengan baik. Semoga segala kebaikan dan ilmu yang telah diberikan dapat menjadi amal yang bermanfaat dan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.

3. Ghea Febriani Sanova, partner tugas akhir saya, terima kasih telah menjadi rekan seperjuangan dalam melewati setiap proses yang penuh tantangan ini. Terima kasih atas kerja sama, bantuan, diskusi, serta semangat yang selalu diberikan di tengah lelah dan tekanan selama penyusunan tugas akhir. Banyak cerita, pengalaman, dan pelajaran berharga yang tercipta dari perjalanan Kerja Praktik, Penelitian, hingga Tugas Akhir ini. Semoga segala usaha, pengorbanan waktu, dan perjuangan yang telah dilalui bersama dapat menjadi langkah awal menuju kesuksesan di masa depan.

4. Gegeey, untuk seseorang yang senantiasa bersama disetiap lelah dan resah**,** terima kasih atas keteduhan, ketulusan, dan ruang pulang yang tidak pernah usai. Di balik panjangnya perjalanan ini, hadirmu adalah bagian dari kekuatan yang tidak selalu terlihat, namun senantiasa menghidupkan harapan. Terima kasih karena tetap tinggal dan menjadi alasan mengapa perjuangan ini layak untuk dituntaskan.

5. Teman-teman "Kontrakan 22", yang telah menjadi bagian dari perjalanan saya. Terima kasih atas dukungan, semangat, serta rasa kekeluargaan yang senantiasa dihadirkan di tengah panjangnya proses ini. Kehangatan, kebersamaan, dan setiap cerita yang terjalin akan menjadi kenangan berharga yang tidak akan terlupakan.

6. Ucapan terima kasih yang mendalam saya sampaikan kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas segala bentuk doa, dukungan, bantuan, serta partisipasi yang turut mengiringi proses penyelesaian tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan sebagaimana mestinya.

Marciello Agisto Pramudya

Teknik Kimia UII 2022

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur senantiasa saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, serta kemudahan yang telah diberikan. Di tengah berbagai tantangan, kelelahan, dan proses panjang yang penuh pembelajaran, akhirnya saya dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik ini. Penyelesaian tugas akhir ini menjadi salah satu pencapaian penting dalam perjalanan perkuliahan serta gambaran dan bentuk perjuangan saya dalam menjalani perkuliahan selama ini. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Mama dan Papi. Terima kasih untuk semua doa yang menyertai langkah saya. Terima kasih untuk setiap pengorbanan yang mungkin tidak saya ketahui sepenuhnya. Terima kasih karena tidak pernah berhenti percaya kepada saya bahkan disaat saya sering meragukan diri sendiri. Kepercayaan yang Mama dan Papi berikan menjadi salah satu alasan saya dapat bertahan hingga titik ini. Tugas akhir ini bukan sekedar akhir dari perjalanan saya, tetapi juga menjadi tanda dari banyak kasih sayang, kesabaran, dan harapan yang Mama dan Papi titipkan selama ini. Semoga pencapaian ini dapat menjadi alasan kecil bagi Mama dan Papi untuk merasa bangga atas anak yang selalu Mama dan Papi doakan.
2. Ibu Ifa Puspasari S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya. Terima kasih atas segala bimbingan, arahan, ilmu, waktu, serta motivasi yang telah Ibu berikan. Semua dukungan yang Ibu berikan menjadi bagian penting bagi saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga semua

kebaikan dan ilmu yang Ibu berikan menjadi amal yang terus mengalir dan membawa keberkahan dari Allah SWT. آمِيْن

3. Marciello Agisto Pramudya, *partner* seperjuangan saya. Terima kasih telah menjadi *partner* yang membersamai perjuangan ini sejak Kerja Praktik, Penelitian, hingga Tugas Akhir. Terima kasih untuk setiap kerja sama, diskusi, dukungan, dan suka maupun duka yang telah dilalui bersama di perjalanan ini. Semoga semua usaha dan kerja keras yang telah kita usahakan bersama hari ini menjadi awal dari banyak pencapaian baik di masa yang akan datang.
4. Fadya, sahabat saya dari SD hingga sekarang, *my personal phsycologist*. Terima kasih telah menjadi sahabat yang selalu hadir di setiap fase kehidupan saya, menjadi pendengar yang baik, dan selalu meluangkan waktu untuk saya ditengah kehidupan dan kesibukan yang berbeda.
5. Intan Aulia Priska, teman pertama saya di UII dan di Teknik Kimia. Terima kasih sudah menjadi orang pertama yang membuat saya merasa tidak sendirian di lingkungan yang benar-benar baru, walaupun akhirnya kamu pindah ke univ Bantul itu huhu. *See u* di versi terbaik kita di masa depan, Ibu Dokter.
6. Okta, teman terdekat saya selama perkuliahan. Terima kasih sudah selalu ada di setiap senang dan sedih, Ta. Terima kasih telah menjadi sahabat terbaik selama masa perkuliahan ini. Semoga nanti, sesibuk apapun kita, kita dipertemukan kembali dengan segala mimpi yang telah terwujud, Aamiin.
7. Orang-orang *2nd choice*, Okta, Diva, Ara, yang menjadi salah satu bagian terbaik dalam perkuliahan ini. Terima kasih untuk semua obrolan *random* yang tidak ada habisnya, *inside jokes* yang tidak akan dipahami orang lain, agenda

dadakan yang selalu ada hampir setiap minggunya, dan selalu ada dengan caranya masing-masing. Terima kasih karena telah menjadi bukti bahwa salah satu hal terbaik yang saya dapatkan dari perkuliahan bukan hanya gelar, tetapi juga kalian.

8. KRS *Reborn,* Okta, Ara, Diva, Desy, Jeni, Salsa, Bima, Aisyah. Terima kasih untuk semua perjuangan yang telah dilalui bersama, mulai dari belajar bareng, laprak tulis tangan yang tidak ada habisnya, diskusi tugas yang lebih banyak bercandanya, dan semua ke-*dar-der-dor*-an dalam perkuliahan ini. Tanpa kalian, perjalanan perkuliahan ini mungkin akan terasa jauh lebih berat dan melelahkan. Semoga nanti, sesibuk apapun kita, grup ini tetap ramai oleh *celoteh-celotehan* tidak penting yang selalu bikin tertawa.
9. Cello, seseorang yang senantiasa bersama disetiap keluh kesah saya. *Thank you for always being there. Thank you for your continously support and appreciating every little things that I achieved.*
10. Dan yang terakhir, kepada diri saya sendiri, Ghea Febriani Sanova. Terima kasih telah bertahan sejauh ini. Terima kasih untuk tidak menyerah sesering apapun kamu meragukan dirimu sendiri. *Keep going, Ghe!*

Ghea Febriani Sanova

Teknik Kimia UII 2022

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **ii**
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI ..... **iii**
PRAKATA ..... **iii**
LEMBAR PERSEMBAHAN ..... **vi**
LEMBAR PERSEMBAHAN ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR TABEL ..... **xvi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xix**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xx**
DAFTAR LAMBANG ..... **xxi**
ABSTRAK ..... **xxii**
ABSTRACT ..... **xxiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik 2
1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku 2
1.3 Tinjauan Pustaka 10
1.3.1 Proses Produksi 11
1.3.2 Alasan Pemilihan Proses 15
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika 17
1.4.1 Tinjauan Kinetika 17
1.4.2 Tinjauan Termodinamika 18
BAB II PERANCANGAN PRODUK **23**
2.1 Spesifikasi Produk 23
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung 24
2.2.1 Spesifikasi Bahan Baku 24
2.2.2 Spesifikasi Bahan Pendukung 31
2.3 Pengendalian Kualitas 33
2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku 34
2.3.2 Pengendalian Proses Produksi 34
2.3.3 Pengendalian Kuliatas Produk 36

BAB III PERANCANGAN PROSES 37
3.1 Diagram Alir Proses dan Material 37
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif 37
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif 38
3.2 Uraian Proses 38
3.2.1 Proses Persiapan Bahan Baku 39
3.2.2 Tahap Pembuatan Karbon Hitam 39
3.2.3 Tahap Pendinginan 40
3.2.4 Tahap Pemisahan 40
3.2.5 Tahap Pelletisasi dan Pengeringan 41
3.2.6 Tahap Penyimpanan 41
3.3 Spesifikasi Alat 41
3.3.1 Spesifikasi Reaktor 41
3.3.2 Spesifikasi Alat Pendukung dan Pemisah 42
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan 46
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan 48
3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas 50
3.4 Neraca Massa 52
3.4.1 Neraca Massa Total 52
3.4.2 Neraca Massa Alat 53
3.5 Neraca Panas 55
BAB IV PERANCANGAN PABRIK 59
4.1 Lokasi Pabrik 59
4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik 60
4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik 62
4.2 Tata Letak Pabrik 62
4.3 Tata Letak Alat Proses 65
4.4 Organisasi Perusahaan 67
4.4.1 Bentuk Perusahaan 67
4.4.2 Struktur Organisasi Perusahaan 68
4.4.3 Tugas dan Wewenang 72
4.4.4 Sistem Kerja 79
4.4.5 Penggolongan Jabatan, Jumlah Karyawan, dan Gaji 81
4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan 82

BAB V UTILITAS 85
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air 87
5.1.1 Unit Penyediaan Air 87
5.1.2 Unit Pengolahan Air 91
5.2 Unit Pembangkit Steam (*Steam Generation System*) 98
5.3 Unit Pengolahan Pendingin 99
5.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*) 100
5.5 Unit Penyedia Udara Tekan (*Instrument Air System*) 104
5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar 104
5.7 Unit Pengolahan Limbah (UPL) 105
5.8 Spesifikasi Alat Utilitas 106
5.8.1 Alat Unit Pengolahan Air Bersih 106
5.8.2 Alat Unit Pengolahan Air Service dan Air Domestik 108
5.8.3 Alat Unit Pengolahan Air Pendingin 109
5.8.4 Alat Unit Penyedia Steam 110
5.8.5 Alat Unit Udara Tekan 111
5.8.6 Alat Unit Penyedia Bahan Bakar 112
5.8.7 Generator 112
5.8.8 Pompa Utilitas 112
BAB IV EVALUASI EKONOMI 118
6.1 Penaksiran Harga Alat 119
6.2 Dasar Perhitungan 124
6.3 Komponen Biaya 125
6.3.1 Modal (*Capital Investment*) 125
6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*) 127
6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*) 129
6.4 Analisa Keuntungan 129
6.5 Analisa Risiko Pabrik 130
6.6 Analisa Kelayakan 132
6.6.1 *Return On Investment* (ROI) 133
6.6.2 *Pay Out Time* (POT) 133
6.6.3 *Break Even Point* (BEP) 134
6.6.4 *Shut Down Point* (SDP) 135
6.6.5 *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) 136

6.6.6 Hasil Analisa 137
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 140
7.1 Kesimpulan 140
7.2 Saran..... 141
DAFTAR PUSTAKA..... 143

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Karbon Hitam 3
Tabel 1.2 Data Produksi Karbon Hitam di Indonesia 4
Tabel 1.3 Data Ekspor Karbon Hitam di Indonesia 5
Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan Karbon Hitam 16
Tabel 1.5 Data Nilai Entalpi, Energi Gibbs, dan Entropi 19
Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor 41
Tabel 3.2 Spesifikasi Filter Udara 42
Tabel 3.3 Spesifikasi *Cyclone* 43
Tabel 3.4 Spesifikasi *Bag Filter* 44
Tabel 3.5 Spesifikasi *Rotary Dryer* 44
Tabel 3.6 Spesifikasi Kompresor 45
Tabel 3.7 Spesifikasi *Expansion Valve* 45
Tabel 3.8 Spesifikasi *Pelletizer* 46
Tabel 3.9 Spesifikasi Tangki 47
Tabel 3.10 Spesifikasi Silo 47
Tabel 3.11 Spesifikasi *Cooling Screw Conveyor* 48
Tabel 3.12 Spesifikasi *Bucket Elevator* 49
Tabel 3.13 Spesifikasi Pompa 49
Tabel 3.14 Spesifikasi *Heat Exchanger* 50
Tabel 3.15 Spesifikasi *Quencher* 51
Tabel 3.16 Neraca Massa Total 52
Tabel 3.17 Neraca Massa Reaktor 53
Tabel 3.18 Neraca Massa *Quencher* 53
Tabel 3.19 Neraca Massa *Cyclone* 54
Tabel 3.20 Neraca Massa *Bag Filter* 54
Tabel 3.21 Neraca Massa *Pelletizer* 55
Tabel 3.22 Neraca Massa *Rotary Dryer* 55
Tabel 3.23 Neraca Panas Reaktor 55
Tabel 3.24 Neraca Panas *Quencher* 56
Tabel 3.25 Neraca Panas *Cyclone* 56
Tabel 3.26 Neraca Panas *Bag Filter* 56
Tabel 3.27 Neraca Panas *Pelletizer* 56
Tabel 3.28 Neraca Panas *Rotary Dryer* 57
Tabel 3.29 Neraca Panas *Heat Exchanger* 1 57
Tabel 3.30 Neraca Panas *Heat Exchanger* 2 57
Tabel 3.31 Neraca Panas Kompresor 1 57
Tabel 3.32 Neraca Panas Kompresor 2 58
Tabel 3.33 Neraca Panas CSC-01 58
Tabel 3.34 Neraca Panas SC-01 58
Tabel 3.35 Neraca Panas CSC-02 58

Tabel 4.1 Rincian Luas Bangunan dan Tanah 64
Tabel 4.2 Rincian Jam Kerja 79
Tabel 4.3 Rincian Jam Kerja *Shift* 80
Tabel 4.4 Jadwal Jam Kerja 80
Tabel 4.5 Sistem Gaji 81
Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin 89
Tabel 5.2 Kebutuhan Air *Steam* 91
Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik Alat Proses 100
Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Utilitas 101
Tabel 5.5 Spesifikasi *Screening* 106
Tabel 5.6 Spesifikasi Bak Pengolahan Air 106
Tabel 5.7 Spesifikasi Tangki Pengolahan Air 107
Tabel 5.8 Spesifikasi *Sand Filter* 107
Tabel 5.9 Spesifikasi Karbon Filter 107
Tabel 5.10 Spesifikasi *Clarifier* 108
Tabel 5.11 Spesifikasi Tangki Air *Service* & Domestik 108
Tabel 5.12 Spesifikasi Tangki Klorinasi 108
Tabel 5.13 Spesifikasi Bak Pengolahan Air Pendingin 109
Tabel 5.14 Spesifikasi *Cooling Tower* 109
Tabel 5.15 Spesifikasi Tangki Pengolahan Steam 110
Tabel 5.16 Spesifikasi *Cation Exchanger* 110
Tabel 5.17 Spesifikasi *Anion Exchanger* 110
Tabel 5.18 Spesifikasi Deaerator 111
Tabel 5.19 Spesifikasi *Boiler* 111
Tabel 5.20 Spesifikasi Kompresor 111
Tabel 5.21 Spesifikasi Tangki *Silica Gel* 111
Tabel 5.22 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar 112
Tabel 5.23 Spesifikasi Generator 112
Tabel 5.24 Spesifikasi Pompa Utilitas 112
Tabel 5.25 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 113
Tabel 5.26 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 114
Tabel 5.27 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 115
Tabel 5.28 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 115
Tabel 5.29 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 116
Tabel 5.30 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 117
Tabel 6.1 Indeks Harga Alat Pada Tahun 1950 - 2007 119
Tabel 6.2 Harga Alat Proses 122
Tabel 6.3 Harga Alat Utilitas 122
Tabel 6.4 *Physical Plant Cost* (PPC) 125
Tabel 6.5 *Direct Plant Cost* (DPC) 125
Tabel 6.6 *Fixed Capital Investment* (FCI) 126
Tabel 6.7 *Working Capital Investment* 126
Tabel 6.8 *Capital Fixed Investment* 127
Tabel 6.9 *Direct Manufacturing Cost* 127

Tabel 6.10 *Indirect Manufacturing Cost* 128
Tabel 6.11 *Fixed Manufacturing Cost* 128
Tabel 6.12 Total *Manufacturing Cost* 128
Tabel 6.13 Total *General Expenses* 129
Tabel 6.14 Total Biaya Produksi 129
Tabel 6.15 Parameter Analisa Risiko Pabrik 130
Tabel 6.16 *Return On Investment* (ROI) 133
Tabel 6.17 *Pay Out Time* (POT) 134
Tabel 6.18 *Annual Fixed Manufacturing Cost* (Fa) 134
Tabel 6.19 *Annual Variable Cost* (Va) 135
Tabel 6.20 *Annual Regulated Expenses* (Ra) 135
Tabel 6.21 *Annual Sales Value* (Sa) 135
Tabel 6.22 Kesimpulan Analisa Kelayakan Ekonomi 139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Impor Karbon Hitam di Indonesia 3
Gambar 1.2 Grafik Ekspor Karbon Hitam di Indonesia 6
Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif 37
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif 38
Gambar 4.1 Peta Lokasi Pabrik..... 59
Gambar 4.2 *Layout* Pabrik 65
Gambar 4.3 *Layout* Alat Proses..... 66
Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan 71
Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas..... 86
Gambar 6.1 Grafik Regresi Linear Kenaikan Index 121
Gambar 6.2 Grafik Evaluasi Ekonomi..... 138
Gambar 1. *Furnace Reactor*..... 152

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A REAKTOR..... 145
LAMPIRAN B *PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM* (PEFD)..... 173
LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN 175

DAFTAR LAMBANG

ID	: *Inside Diameter*, in	L	: Panjang Tube, ft
OD	: *Outside diameter*, in	BWG	: *Birmingham Wire Gauge*
ΔGf°	: Energi Bebas Gibbs, kJ/mol	ω	: *Acentric Factor*
Q	: Kebutuhan Kalor, kJ/Jam	n	: umur pabrik, tahun
T	: *Temperature*, ˚C	Ra	: *Annual Regulated Cost*
P	: Tekanan, atm	Fa	: *Annual Fixed Cost*
LMTD	: *Long Mean Temperature Different*	Va	: *Annual Variable Cost*
Sg	: *Specific gravity*	Sa	: *Annual Sales Cost*
Re	: Bilangan Reynold	BM	: Berat Molekul, gr/mol
icr	: Jari-jari sudut dalam, in		
Rd	: *Dirt Factor*		
ΔP	: *Pressure Drop*, psi		
ρ	: Densitas, kg/m³		
μ	: Viskositas, cP		
Cp	: Kapasitas Panas, kJ/kg.K		
V	: Volume, m³		
ΔHR	: Panas Reaksi Standar, kJ/kmol		

ABSTRAK

Karbon Hitam merupakan bahan industri yang banyak digunakan sebagai pigmen dan bahan penguat pada produk seperti ban dan berbagai produk karet lainnya. Pendirian pabrik karbon hitam di Indonesia mempunyai potensi strategis untuk mengurangi ketergantungan impor dan memenuhi kebutuhan konsumsi di Indonesia. Pabrik direncanakan berdiri pada tahun 2030 di Bontang, Kalimantan Timur, dengan kapasitas produksi sebesar 75.000 ton/tahun. Pabrik akan dibangun di atas lahan seluas 49.380,58 m² dan melibatkan 150 karyawan, beroperasi selama 24 jam per hari dan 330 hari per tahun. Karbon hitam dihasilkan melalui proses *furnace* yang melibatkan dua reaksi utama, yaitu reaksi pembakaran dan perengkahan pada suhu 1700 °C dan tekanan 5 atm, dengan kebutuhan bahan baku gas alam 24.750,57 kg/jam. Total kebutuhan utilitas mencapai 538.676,72 kg/jam. Analisa risiko menunjukkan bahwa pabrik tergolong berisiko tinggi. Berdasarkan evaluasi ekonomi, diperoleh keuntungan sesudah pajak sebesar Rp670.819.452.360 dengan ROI sebelum dan sesudah pajak masing-masing sebesar 45,11% dan 35,18%. Nilai POT sebelum dan sesudah pajak masing-masing adalah 1,81 tahun dan 2,21 tahun. Selain itu, diperoleh BEP sebesar 44,44%, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 24,73%, dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 15,27%. Berdasarkan hasil tersebut, pabrik karbon hitam dari gas alam layak untuk didirikan di Indonesia.

Kata kunci: Evaluasi Ekonomi, Gas Alam, Karbon Hitam, Proses *Furnace*

ABSTRACT

Carbon Black is an industrial material widely used as a pigment and reinforcing agent in products such as tires and various rubber products. The establishment of a Carbon Black plant in Indonesia has strategic potential to reduce import dependency and fulfill domestic demand. The plant is planned to be established in 2030 in Bontang with a production capacity of 75.000 tons/year. The factory will be constructed on an area of 49.380,58 m² and will employ 150 workers, operating 24 hours per day and 330 days per year. Carbon Black is produced through the furnace process involving two main reactions, namely combustion and cracking reactions at 1700 °C and 5 atm, with a natural gas feed requirement of 24.750,57 kg/hour. The total utility requirement reaches 538.676,72 kg/hour. Risk analysis indicates that the plant is classified as low risk. Based on the economic evaluation, the profit after tax is Rp670.819.452.360 with Return on Investment (ROI) before and after tax of 45,11% and 35,18%, respectively. The Pay Out Time (POT) before and after tax are 1,81 years and 2,21 years, respectively. In addition, the Break Even Point (BEP) is 44,44%, the Shut Down Point (SDP) is 24,73%, and the Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) is 15,27%. Based on these results, the establishment of a Carbon Black plant from natural gas is considered feasible in Indonesia.

Keywords: Carbon Black, Economic Evaluation, Furnace Process, Natural Gas

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon hitam merupakan istilah umum untuk sekelompok material penting yang banyak digunakan, terutama sebagai penguat dalam karet dan pewarna hitam. Material ini berbentuk serbuk sangat halus dan ringan, memiliki ukuran partikel yang sangat kecil dengan luas permukaan yang besar, dan tersusun hampir seluruhnya dari unsur karbon. Karbon hitam dikenal sebagai salah satu bahan kimia yang sangat stabil. Secara umum, material ini termasuk dalam jenis nanomaterial yang paling luas penggunaannya, dengan ukuran partikel berkisar antara puluhan hingga beberapa ratus nanometer (nm) (Kirk & Othmer, 1998).

Pabrik-pabrik karbon hitam didirikan secara strategis di berbagai negara untuk memenuhi kebutuhan industri ban karet, yang menjadi pengguna utama dengan konsumsi sekitar 70% dari total produksi global. Sekitar 20% lainnya digunakan untuk berbagai produk karet lain, sementara sisanya, sekitar 10%, dimanfaatkan untuk aplikasi nonkaret yang bersifat khusus (Kirk & Othmer, 1998). PT Cabot Indonesia merupakan produsen atau pabrik penghasil karbon hitam terbesar di Indonesia dengan total produksi sebanyak 170.000 ton/tahun. Pada tahun 2019, kebutuhan karbon hitam dalam negeri mencapai 230.000 ton/tahun. Setiap tahunnya, permintaan konsumen karbon hitam di Indonesia

diperkirakan mencapai 0,54%, dengan kebutuhan konsumsi pada tahun 2030 mendatang diperkirakan mencapai 244.950 ton/tahun.

Berdasarkan uraian diatas, diperlukan pembangunan pabrik karbon hitam dengan kapasitas produksi sebesar 75.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan konsumsi di Indonesia. Pendirian pabrik ini juga didukung oleh beberapa alasan penting, antara lain:

1. Memenuhi kebutuhan karbon hitam dalam negeri, mengingat produksi nasional saat ini belum mampu menutupi seluruh permintaan industri.
2. Mengurangi ketergantungan terhadap produk impor, sehingga dapat meningkatkan kemandirian dan ketahanan industri nasional.
3. Mendorong perkembangan ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja baru.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas pabrik merupakan penentuan jumlah maksimal produksi suatu pabrik dalam rentang waktu tertentu. Penentuan kapasitas pabrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya seperti ketersedian bahan baku dan kebutuhan produk, dan kapasitas pabrik yang telah berdiri.

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor utama dan terpenting dalam keberlangsungan proses pabrik. Bahan baku yang digunakan harus mudah

didapat dan aman digunakan. Bahan baku yang digunakan ialah gas alam, yang diproduksi dan di suplai dari PT Badak LNG.

1.2.2 Kebutuhan Produk

a. *Supply*

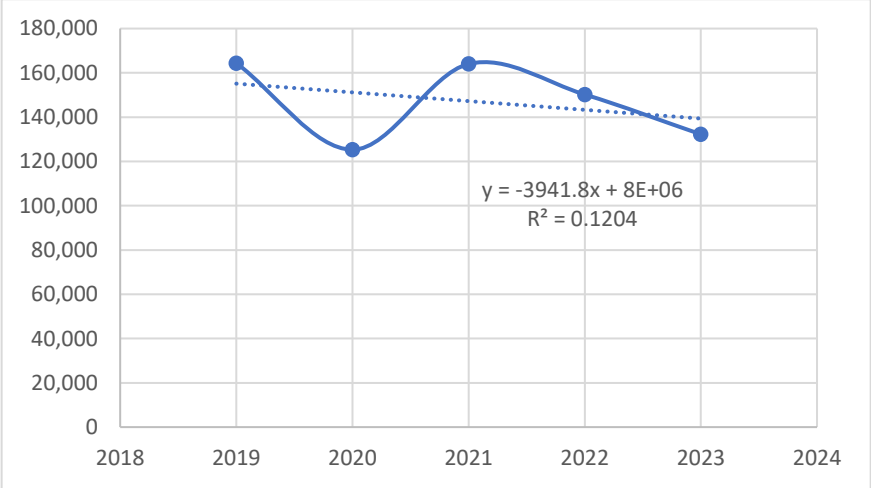
1) Impor

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, besarnya nilai impor karbon hitam di Indonesia ialah:

Tabel 1.1 Data Impor Karbon Hitam

Tahun	Impor Ton/Tahun
2019	164.411,11
2020	125.310,10
2021	164.019,14
2022	150.219,34
2023	132.247,73

(Sumber: Badan Pusat Statistik)



Gambar 1.1 Grafik Impor Karbon Hitam di Indonesia

Dari grafik impor karbon hitam di atas, dalam memperkirakan jumlah impor karbon hitam dalam 5 tahun yang akan datang yaitu pada tahun 2030 dapat dihitung menggunakan persamaan regresi linier metode kuadrat terkecil. Sehingga persamaan menggunakan metode tersebut diperoleh yaitu:

y = -3.941,8x + 8E+06

y = -3.941,8x + 8.000.000

y = -3.941,8 (2030) + 8.000.000

y = -1.854 ton/tahun = 0 ton/tahun

Dikarenakan nilai regresi linear jumlah impor karbon hitam pada tahun 2030 *minus* (-), maka dapat dianggap 0 (nol).

2) Produksi

PT Cabot Indonesia, anak perusahaan *Cabot Corporation*, melakukan penambahan kapasitas pabrik karbon hitam di Cilegon, Banten, dengan menambah kapasitas produksi sebesar 80.000 ton/tahun. Kapasitas produksi meningkat dari 90.000 ton/tahun menjadi 170.000 ton/tahun, dan kapasitas ini telah beroperasi sejak tahun 2021 hingga saat ini.

Tabel 1.2 Data Produksi Karbon Hitam di Indonesia

Tahun	Kapasitas (Ton/Tahun)
2019	90.000
2020	90.000
2021	170.000

2022	170.000
2023	170.000

(Sumber: PT Cabot Indonesia)

Berdasarkan data impor dan produksi karbon hitam di Indonesia pada tahun 2030 yang telah ditentukan, maka didapatkan nilai *supply* karbon hitam di Indonesia yaitu:

Supply = Impor + Produksi

Supply = (0 + 170.000) ton/tahun

Supply = 170.000 ton/tahun

b. *Demand*

1) Ekspor

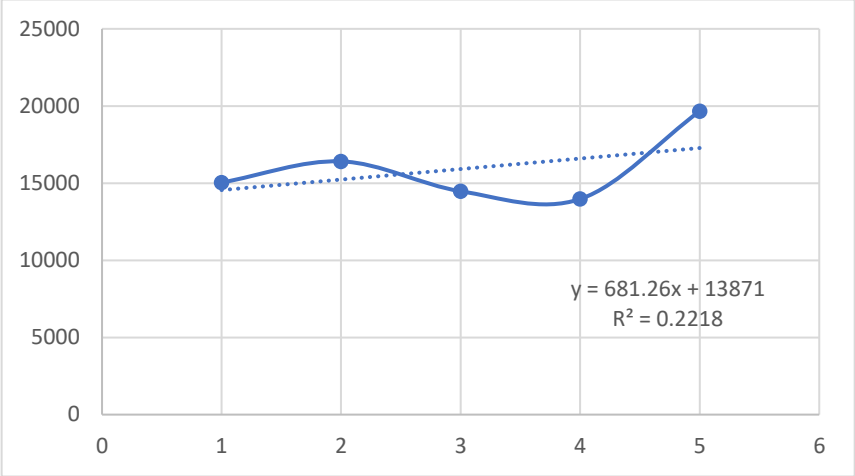
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, besarnya nilai ekspor karbon hitam di Indonesia ialah:

Tabel 1.3 Data Ekspor Karbon Hitam di Indonesia

Tahun	Ekspor Ton/Tahun
2019	15.040,92
2020	16.412,88
2021	14.477,65
2022	13.972,94
2023	19.667,21

(Sumber: Badan Pusat Statistik)

Dari data ekspor di atas, dapat dibuat grafik linear antara data pada sumbu x dan data ekspor karbon hitam pada sumbu y. Hasil regresi linier dapat dilihat pada grafik gambar berikut.



Gambar 1.2 Grafik Ekspor Karbon Hitam di Indonesia

Dari grafik produksi karbon hitam di atas, dalam memperkirakan jumlah produksi karbon hitam dalam 5 tahun yang akan datang yaitu pada tahun 2030 dapat dihitung menggunakan persamaan regresi linier metode kuadrat terkecil. Sehingga persamaan menggunakan metode tersebut diperoleh yaitu:

y = 681,26x + 13.871

Dan dapat diperkirakan bahwa ekspor karbon hitam pada tahun 2030:

y = (681,26) (2030) + 13.871

y = 1.396.829 ton/tahun

2) Konsumsi

Berdasarkan data yang didapatkan dari laman ANTARA, Kantor Berita Indonesia (2019), Menteri Perindustrian menyampaikan bahwa kebutuhan karbon hitam di industri dalam negeri untuk saat

ini masih dalam jumlah yang cukup tinggi, yaitu berjumlah sebesar 230.000 ton/tahun dan sebagian besar dari kebutuhan tersebut disediakan dari luar negeri. Pasar karbon hitam menunjukkan prospek yang menjanjikan dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan sebesar 4,9% dari tahun 2025 hingga 2034.

Perkiraan kebutuhan karbon hitam di masa mendatang dihitung berdasarkan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (*Compound Annual Growth Rate*/CAGR) sebesar 4,9% untuk periode 2025–2034. Jumlah tahun dalam periode tersebut adalah:

$$n = (T_t - T_0)$$

$$n = (2034 - 2025) = 9\ tahun$$

Dimana,

n = Jumlah tahun

T_t = Tahun proyeksi

T_0 = Tahun dasar

Tingkat pertumbuhan rata-rata per tahun dapat dihitung sebagai berikut:

$$r = \frac{r_{total}}{n}$$

$$r = \frac{4{,}9\%}{9} = 0{,}54\%$$

Dimana,

r = Tingkat pertumbuhan per tahun (%)

r_{total} = Tingkat pertumbuhan total dalam periode tertentu (%)

n = Jumlah tahun dalam periode

Untuk memperkirakan jumlah kebutuhan karbon hitam di tahun 2030 (tahun ke-12 dari tahun dasar 2019) maka dapat dihitung dengan:

$$\Delta K_{2030} = 230.000\ ton/tahun \times (0{,}54\% \times 12)$$

$$\Delta K_{2030} = 230.000\ ton/tahun \times (0{,}0054 \times 12)$$

$$\Delta K_{2030} = 230.000\ ton/tahun \times 0{,}065$$

$$\Delta K_{2030} = 14.950\ ton/tahun$$

Didapatkan total kebutuhan karbon hitam di tahun 2030 mendatang ialah:

$$K_t = \Delta K_t + P$$

$$K_t = P + \Delta K_{2030}$$

$$K_{2030} = (230.000 + 14.950)\ ton/tahun$$

$$K_{2030} = 244.950\ ton/tahun$$

Dimana,

ΔK_t = Kenaikan kebutuhan karbon hitam pada tahun ke t (ton/tahun)

K_t = Kebutuhan karbon hitam di tahun ke t (ton/tahun)

P = Kebutuhan karbon hitam pada tahun dasar (ton/tahun)

Berdasarkan data ekspor dan konsumsi karbon hitam di Indonesia pada tahun 2030 yang telah ditentukan, maka didapatkan nilai *demand* karbon hitam di Indonesia yaitu:

Demand = Ekspor + Konsumsi

Demand = (1.396.829 + 244.950) ton/tahun

Demand = 1.641.779 ton/tahun

Berdasarkan data *supply* dan *demand* karbon hitam di Indonesia pada tahun 2030, maka didapatkan peluang kapasitas pabrik ialah:

Peluang = *Demand* - *Supply*

Peluang = (1.641.779 - 170.000) ton/tahun

Peluang = 1.471.779 ton/tahun

Maka, didapatkan kapasitas pabrik:

Kapasitas = 5% x Peluang

= 5% x 1.473.633 ton/tahun

= 73.588,95 ton/tahun

Kapasitas pabrik karbon hitam yang dirancang guna memenuhi permintaan pasar dalam negeri secara optimal pada tahun 2030 diproyeksikan sebesar 75.000 ton/tahun.

1.3 Tinjauan Pustaka

Karbon hitam merupakan partikel hitam yang berbentuk bubuk halus atau butiran kecil, dengan kandungan karbon murni lebih dari 95%. Bahan ini dibuat melalui proses yang dikontrol agar menghasilkan partikel-partikel kecil dengan struktur dan sifat kimia yang berbeda beda. Pada umumnya, karbon hitam diproduksi dari pembakaran minyak dan gas alam pada suhu tinggi. Namun, selain itu karbon hitam juga bisa dihasilkan dari pembakaran batubara, tar batubara, bahan nabati, dan retak etilen dengan pasokan udara yang terbatas (Ramly & Setiyo, 2023).

Menurut *International Carbon Black Association* (2016), karbon hitam [C.A.S. No. 1333-86-4] pada dasarnya merupakan unsur karbon murni berbentuk partikel koloid yang dihasilkan melalui proses pembakaran parsial atau dekomposisi termal hidrokarbon, baik dalam fase gas maupun cair, di bawah kondisi yang terkontrol. Zat ini tidak berbau dan banyak digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam berbagai industri, seperti karet, plastik, tinta, dan pelapis. Karakteristik karbon hitam termasuk ukuran partikel, luas permukaan, porositas, serta sifat-sifat lainnya sangat bergantung pada metode dan proses pembuatannya. Perbedaan inilah yang menjadi dasar penentuan jenis karbon hitam.

1.3.1 Proses Produksi

Karbon hitam dihasilkan melalui proses pembakaran hidrokarbon yang tidak berlangsung secara sempurna, seperti yang terdapat pada minyak bumi atau gas alam. Unit primer terkecil dari karbon hitam disebut agregat, dimana pada umumnya tersusun dalam sejumlah partikel berbentuk bola berukuran koloid yang saling menyatu dan terdiri dari struktur mikro grafit parakristalin.

Terdapat lima proses berbeda yang digunakan untuk menghasilkan karbon hitam, yaitu:

a. Furnace Process

Proses *furnace* menghasilkan lebih dari 95% karbon hitam dunia. Proses ini menggunakan pembakaran parsial minyak aromatik residu atau gas alam, yang mudah diperoleh dan diangkut, sehingga pabrik dapat dibangun di berbagai lokasi biasanya dekat industri ban dan karet agar biaya transportasi lebih efisien.

Peralatan utama yang digunakan meliputi blower udara, pemanas awal, reaktor, menara *quench*, *filter bag*, *pelletizer*, dan *rotary dryer*. Secara singkat, minyak atau gas alam yang telah dipanaskan disemprotkan ke aliran gas panas hasil pembakaran. Gas terbakar pada suhu 1400 - 1800°C dan membentuk karbon hitam. Gas hasil reaksi kemudian didinginkan cepat, disaring menggunakan *bag filter* untuk memisahkan karbon hitam dari gas buangan, lalu karbon hitam dicampur air, dibentuk menjadi granul, dan dikeringkan.

Produk akhir dikirim dalam bentuk curah atau dikemas sesuai kebutuhan. Meskipun reaktor menentukan sifat karbon hitam, ukuran peralatan seperti *bag filter*, pengering, dan tangki penyimpanan jauh lebih besar dibanding reaktor itu sendiri.

Reaksi yang terjadi pada proses *furnace* adalah:

Reaksi Pembakaran:

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Reaksi Dekomposisi Metana:

$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$ (Kirk & Othmer, 1998)

b. Thermal Black Process

Thermal black adalah jenis karbon hitam berukuran partikel besar dan berstruktur rendah yang dihasilkan melalui dekomposisi termal gas alam, gas dari tungku kokas, atau hidrokarbon cair dalam kondisi tanpa udara dan tanpa nyala api. Proses *thermal black* menjadi jenis karbon hitam termahal yang banyak digunakan di industri karet.

Proses produksinya, yang dikembangkan sejak 1922, bersifat siklik, menggunakan dua tungku silinder tahan api berdiameter 4 meter dan tinggi 10 meter. Satu tungku dipanaskan dengan campuran udara dan gas buangan, sementara tungku lainnya yang telah mencapai 1300°C dialiri gas alam untuk menghasilkan karbon hitam. Siklus produksi dan

pemanasan bergantian setiap 5 menit, sehingga proses berlangsung kontinu.

Gas buangan yang kaya hidrogen (90%) membawa partikel karbon hitam ke menara pendingin, lalu melalui filter kantong untuk pemisahan. Gas tersebut kemudian didinginkan dan digunakan kembali sebagai bahan bakar.

Karbon hitam yang terkumpul diproses lebih lanjut melalui pemisahan logam (*magnetic separator*), pengayakan, penghalusan (*hammermilling*), dan pengemasan atau pelletisasi, sebelum akhirnya dikirim ke berbagai industri pengguna.

Reaksi yang terjadi pada proses *thermal black* ialah:

Reaksi Pembakaran:

$C_{20}H_{42} + 6^1/_2 \rightarrow 20CO_2 + 21H_2O$

Reaksi Perengkahan:

$C_{20}H_{42} \rightarrow 20C + 21H_2$ (Kirk & Othmer, 1998)

c. Lampblack Process

Proses *lampblack* adalah metode tertua dan paling sederhana dalam pembuatan karbon hitam, dan masih digunakan hingga saat ini. Teknik ini telah dikenal sejak zaman Mesir Kuno dan Tiongkok, di mana jelaga dikumpulkan dengan cara mengendapkannya pada permukaan dingin, prinsip yang pada dasarnya sama dengan metode modern.

Secara umum, proses ini dilakukan dengan membakar bahan baku cair atau leleh di wadah terbuka berdiameter sekitar 0,5 - 2 meter dan kedalaman 16 cm. Wadah tersebut diletakkan di bawah saluran asap berdinding bata dengan pasokan udara terbatas. Asap hasil pembakaran kemudian dialirkan ke ruang pengendapan berkecepatan rendah, tempat partikel karbon hitam mengendap dan dikumpulkan, biasanya menggunakan alat bermotor.

Pada instalasi modern, proses pemisahan karbon hitam dilakukan dengan sistem siklon dan filter, sehingga lebih efisien. Selain itu, ukuran partikel dan luas permukaan produk dapat diatur dengan menyesuaikan ukuran wadah pembakar serta jumlah udara pembakaran yang digunakan. Dari segi karakteristik, *lampblack* memiliki sifat serupa dengan karbon hitam hasil proses *furnace*, namun dengan luas permukaan yang lebih rendah. Secara umum, *lampblack* memiliki ukuran partikel rata-rata sekitar 65 nm, luas permukaan 22 m^2/g, dan nilai DBP sekitar 130 mL/100 g.

Dengan kesederhanaannya, proses ini tetap menjadi salah satu metode penting dalam produksi karbon hitam, terutama untuk menghasilkan produk dengan sifat dan tekstur tertentu (Kirk & Othmer, 1998).

d. Channel Black Process

Nama *channel black* berasal dari penggunaan batang baja berbentuk kanal (*steel channel iron*) yang berfungsi untuk menangkap jelaga karbon hitam yang terbentuk dari nyala api gas alam kecil yang diarahkan ke permukaannya. Kini, selain gas alam, fraksi tar juga sering digunakan sebagai bahan baku. Dalam instalasi modern, batang kanal telah digantikan oleh rol berpendingin air, di mana karbon hitam yang menempel pada permukaan rol akan dikikis, sementara gas buang dari ruang tertutup yang berisi rol dialirkan melalui filter kantong untuk mengumpulkan sisa karbon hitam sebelum gas tersebut dilepaskan ke atmosfer.

Dalam proses ini, minyak bahan baku perlu di evaporasi terlebih dahulu dan dialirkan ke banyak pembakar kecil menggunakan gas pembawa yang mudah terbakar. Hasil (*yield*) produksi karbon hitam untuk kualitas karet mencapai sekitar 60%, sedangkan untuk kualitas warna tinggi (pigmen) hanya sekitar 10–30%.

Produk dengan ukuran partikel lebih kecil umumnya digunakan sebagai pigmen warna, sedangkan partikel berukuran sekitar 30 nm lebih cocok untuk aplikasi dalam industri karet (Kirk & Othmer, 1998).

1.3.2 Alasan Pemilihan Proses

Proses yang dipilih dan digunakan dalam tugas pra-rancangan pabrik karbon hitam ini ialah *furnace process* dengan gas alam sebagai bahan bakunya. Berikut ini perbandingan kondisi operasi pada setiap proses.

Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan Karbon Hitam

No.	Keterangan	Jenis Proses			
		Furnace	***Thermal Black***	***Lampblack***	***Channel Black***
1.	Bahan baku	Minyak residu dan gas alam	Gas alam	Minyak aromatik berat	Gas alam, fraksi tar
2.	Suhu Operasi	1400 – 1800 °C	1300 – 1500 °C	1100 - 1700 °C	1200 - 1800 °C
3.	*Yield*	35 - 65%	40 - 45%	5 - 10%	5%

Pemilihan proses pembuatan karbon hitam dilakukan dengan membandingkan 3 (tiga) kriteria, yaitu bahan baku, suhu operasi, dan nilai yield. Pada prarancangan pabrik ini proses yang dipilih ialah *furnace process* dengan beberapa alasan, diantaranya:

a. Kesesuaian bahan baku

Proses *furnace* sesuai dengan spesifikasi prarancangan pabrik yang akan dibangun, yaitu menggunakan gas alam sebagai bahan baku.

b. Kebutuhan energi yang optimal

Suhu yang digunakan pada proses *furnace* berada pada rentang 1400 - 1800°C. Rentang suhu ini optimal untuk menjaga keseimbangan antara laju reaksi dan stabilitas struktur karbon. Selain itu, rentang suhu ini juga memungkinkan sistem beroperasi dengan kestabilan termal yang baik.

c. Yield cukup tinggi dan stabil

Nilai yield *furnace* sebesar 35 - 65% termasuk cukup tinggi dan stabil. Nilai yield pada rentang ini menunjukkan efisiensi konversi

karbon hitam dari gas alam yang baik dan tidak menghasilkan produk samping yang terlalu banyak.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Kinetika

Proses pembentukan karbon hitam dari gas alam pada dasarnya melibatkan dua reaksi utama, yaitu pembakaran parsial metana dan dekomposisi termal metana. Pada pembakaran parsial, sebagian metana bereaksi dengan oksigen menghasilkan panas, karbon padat, dan gas hidrogen. Panas yang dilepaskan dari reaksi ini digunakan untuk mempertahankan suhu tinggi di reaktor. Sebaliknya, reaksi dekomposisi termal merupakan proses endotermis, di mana molekul metana diuraikan menjadi karbon padat dan gas hidrogen tanpa adanya oksigen.

Pembakaran:

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ (Reaksi 1)

Dekomposisi Metana:

$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$ (Reaksi 2)

Dalam model tersebut, laju pembentukan partikel karbon bergantung pada suhu, energi aktivasi, serta konsentrasi metana di dalam reaktor. Secara umum, hubungan laju reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius:

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

Dimana,

k = Konstanta laju reaksi

A = Faktor pra-eksponensial ($2{,}8 \times 10^{11}$ s^{-1})

E = Energi aktivasi (316,5 kJ/mol)

R = Konstanta gas (8,314 J/mol.K)

T = Suhu absolut (1973,15 K) (Scheiblehner, et al., 2025)

Maka,

$$k = 2{,}8 \times 10^{11}\ s^{-1} \exp\left(-\frac{316{,}5\ \frac{kJ}{mol}}{8{,}314\ \frac{J}{mol.K} \times 1973{,}15\ K}\right)$$

$$= 2{,}8 \times 10^{11}\ s^{-1} \exp\left(-\frac{3{,}165 \times 10^{5}\ \frac{J}{mol}}{8{,}314\ \frac{J}{mol.K} \times 1973{,}15\ K}\right)$$

$$k = 1.170{,}15\ s^{-1}$$

1.4.2 Tinjauan Termodinamika

Proses pembentukan karbon hitam dari gas alam pada dasarnya didasarkan pada pirolisis metana (dekomposisi termal metana tanpa oksigen). Reaksi utamanya adalah sebagai berikut:

$$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$$

Reaksi dekomposisi metana (CH_4) menjadi karbon padat (C) dan hidrogen gas (H_2). Reaksi ini menjadi dasar dalam produksi karbon hitam dari gas alam, khususnya pada *furnace process*.

Tabel 1.5 Data Nilai Entalpi, Energi Gibbs, dan Entropi

Komponen	ΔHf° (298 K) (kJ/mol)	ΔGf° (298 K) (kJ/mol)
CH_4	-74,5	-50,5
CO_2	-393,5	-394,4
H_2	0	0
O_2	0	0
H_2O	-241,8	-228,6
C	0	0

a. Panas Pembentukan Standar (ΔHf°)

Panas pembentukan standar (ΔHf°) menggambarkan perubahan entalpi total dari reaksi pada tekanan dan suhu standar (298 K, 1 atm) dan bertujuan untuk mengetahui reaksi tersebut bersifat endotermis atau eksotermis. Nilai ΔH° dihitung berdasarkan perbedaan entalpi pembentukan antara produk dan reaktan (Yaws, 1976):

$\Delta Hf° 298 = \sum \Delta Hf° \text{ produk} - \sum \Delta Hf° \text{ reaktan}$

$\Delta Hf° 298 = (\Delta Hf° C + \Delta Hf° 2H2) - (\Delta Hf° CH4)$

$\Delta Hf° 298 = (0 + 2(0)) - (-74,5)$

$\Delta Hf° 298 = 74,5 \text{ kJ/mol}$

Reaksi ini bersifat endotermis, artinya memerlukan energi panas yang besar untuk memutus ikatan C–H pada molekul metana. Karena itu, proses ini hanya terjadi pada suhu tinggi (≥ 1400–1800 K) agar laju reaksi dan kesetimbangannya cukup signifikan.

b. Energi Bebas Gibbs (ΔGf°)

Perhitungan energi bebas Gibbs (ΔGf°) dilakukan untuk mengetahui suatu reaksi kimia dapat berlangsung secara spontan atau tidak. Jika nilai energi bebas Gibbs positif, berarti reaksi tersebut tidak berlangsung spontan dan memerlukan energi tambahan dari luar agar dapat terjadi. Sebaliknya, jika nilai energi bebas Gibbs negatif, maka reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dengan kebutuhan energi yang relatif kecil.

ΔGf° 298 = ∑ΔGf° produk - ∑ΔGf° reaktan

ΔGf° 298 = (ΔGf° C + ΔGf° 2H2) - (ΔGf° CH4)

ΔGf° 298 = (0 + 2(0)) - (-50,5)

ΔGf° 298 = 50,5 kJ/mol

ΔGf° bernilai positif, sehingga reaksi terjadi secara tidak spontan.

c. Konstanta Kesetimbangan Reaksi

Perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K) bertujuan untuk mengetahui arah dan kecenderungan berlangsungnya suatu reaksi kimia, serta seberapa jauh reaksi tersebut berpindah ke arah produk atau tetap berada di sisi reaktan pada kondisi tertentu (biasanya pada suhu dan tekanan standar).

$\Delta Gf° \; 298 = -R.T \ln K(298\ K)$

$50{,}5 \frac{kJ}{mol} = -8{,}314 \times 10^{-3} \frac{kJ}{mol.K} \times 298\ K \times \ln K(298\ K)$

$$K\ (298) = \exp\left(\frac{50{,}5\,\frac{kJ}{mol}}{-8{,}314 \times 10^{-3}\,\frac{kJ}{mol.K} \times 298\ K}\right)$$

$$K\ (298) = 1{,}41\ \times 10^{-9}$$

Pada suhu T = 1973,15 K, menggunakan rumus Van't Hoff dapat dihitung:

$$ln\frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

$$ln\frac{K_2}{1{,}41\ \times 10^{-9}} = -\frac{74{,}5\,\frac{kJ}{mol}}{8{,}314 \times 10^{-3}\,\frac{kJ}{mol.K}}\left(\frac{1}{1973{,}15\ K} - \frac{1}{298\ K}\right)$$

$$ln\frac{K_2}{1{,}41\ \times 10^{-9}} = 25{,}53$$

$$\frac{K_2}{1{,}41\ \times 10^{-9}} = e^{25{,}53}$$

$$\frac{K_2}{1{,}41\ \times 10^{-9}} = 1{,}22 \times 10^{11}$$

$$K_2 = 1{,}41\ \times 10^{-9} \times (1{,}22 \times 10^{11})$$

$$K_2 = 1{,}72 \times 10^{2}$$

Nilai konstanta kesetimbangan yang diperoleh lebih dari 1 (K > 1), sehingga merupakan reaksi *irreversible*.

Berdasarkan tinjauan termodinamika reaksi dekomposisi termal gas alam untuk menghasilkan karbon hitam memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Reaksi bersifat endotermis.

2. Reaksi bersifat tidak spontan.

3. Reaksi bersifat *irreversible.*

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

a. Karbon Hitam

Rumus	: C
Berat Molekul	: 12,01 gr/mol
CAS Number	: 1333-86-4
Bentuk	: Serbuk / *Pellet*
Warna	: Hitam
Sifat	: Amorph
Kemurnian	: 99%
Diameter Partikel	: 10 - 500 nm
Luas Permukaan	: 6 - 150 m^2/gr
pH	: 4 - 11 (T = 20 °C)
Specific Gravity	: 1,7 - 1,9 g/cm^3
Autoignition Temp.	: >315 °C
Titik Leleh	: 3654 - 3697 °C (*Sublimation*)
Kelarutan	: Tidak larut dalam air

Densitas : 31,887 gr/L

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Spesifikasi Bahan Baku

a. Metana

Rumus : CH_4

Berat Molekul : 16,04 gr/mol

CAS Number : 74-82-8

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau

Kemurnian : 100%

Titik Beku : -182, °C

Titik Didih : -161 °C

Titik Kritis : -82 °C

Autoignation Temp. : 595 °C

Kelarutan dalam Air : 24,4 mg/L

b. Etana

Rumus : C_2H_6

Berat Molekul : 30,07 gr/mol

CAS Number : 74-84-0

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau

Kemurnian : 100%

Titik Beku : -183 °C

Titik Didih : -88,6 °C

Titik Kritis : 32 °C

Autoignation Temp. : 515 °C

Kelarutan dalam Air : 61 mg/L (*Air Liquide,* 2020)

c. Propana

Rumus : C_3H_8

Berat Molekul : 44,10 gr/mol

CAS Number : 74-98-6

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Berbau menyengat

Kemurnian : 100%

Titik Beku : -188 °C

Titik Didih : -42,1 °C

Titik Kritis : 96,7 °C

Autoignation Temp. : 470 °C

Kelarutan dalam Air : 75 mg/L (*Air Liquide,* 2023)

d. i-Butana

Rumus : C_4H_{10} / $(CH_3)_2CHCH_3$

Berat Molekul : 58,12 gr/mol

CAS Number : 75-28-5

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau, namun sering dicampur dengan zat penambah bau

Kemurnian : 100%

Titik Beku : -159 °C

Titik Didih : -12 °C

Titik Kritis : 135 °C

Autoignation Temp. : 460 °C

Kelarutan dalam Air : 54 mg/L (*Air Liquide,* 2024)

e. n-Butana

Rumus : C_4H_{10}

Berat Molekul : 58,12 gr/mol

CAS Number : 106-97-8

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau, namun sering dicampur dengan zat penambah bau

Kemurnian : ≤ 100%

Titik Beku : -138 °C

Titik Didih : -0,5 °C

Titik Kritis : 152 °C

Autoignation Temp. : 365 °C

Kelarutan dalam Air : 88 mg/L (*Air Liquide,* 2016)

f. i-Pentana

Rumus : C_5H_{12} / $(CH_3)_2CHCH_2CH_3$

Berat Molekul : 72,15 gr/mol

CAS Number : 78-78-4

Bentuk : Cair

Warna : Tidak berwarna

Bau : Berbau aromatik atau sedikit manis

Kemurnian : 100%

Titik Beku : -159,77 °C

Titik Didih : 30 °C

Titik Nyala : -51 °C

Titik Kritis : 187,25 °C

Autoignation Temp. : 420 °C

Kelarutan dalam Air : 49 mg/L (pada 25 °C)

Densitas : 0,62 gr/mL (*Sigma-Aldrich,* 2025)

g. n-Pentana

Rumus : C_5H_{12}

Berat Molekul : 72,15 gr/mol

CAS Number : 109-66-0

Bentuk : Cair

Warna	: Tidak berwarna	
Bau	: Berbau aromatik	
Kemurnian	: 100%	
Titik Beku	: -129,67 °C	
Titik Didih	: 36,06 °C	
Titik Nyala	: -40 °C	
Autoignation Temp.	: 260 °C	
Kelarutan dalam Air	: 38,5 mg/L	
Densitas	: 0,63 gr/mL	(*Airgas,* 2025)

h. Heksana

Rumus	: C_6H_{14}	
Berat Molekul	: 86,18 gr/mol	
CAS Number	: 110-54-3	
Bentuk	: Cair	
Warna	: Tidak berbau	
Bau	: Seperti hidrokarbon	
pH	: 7,0	
Kemurnian	: ≤ 100%	

Titik Beku : -95 °C

Titik Didih : 69 °C

Titik Nyala : -22 °C

Autoignation Temp. : 225 °C

Kelarutan dalam Air : 10 mg/L

Densitas : 0,659 gr/mL (*Sigma-Aldrich,* 2026)

i. Karbondioksida

Rumus : CO_2

Berat Molekul : 44 gr/mol

CAS Number : 124-38-9

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau

Kemurnian : 100%

Titik Beku : -79,5 °C

Titik Didih : -56,6 °C

Titik Kritis : 30 °C

Autoignation Temp. : Tidak dapat terbakar

Kelarutan dalam Air : 2000 mg/L (*Air Liquide,* 2020)

2.2.2 Spesifikasi Bahan Pendukung

a. Oksigen

Rumus : O_2

Berat Molekul : 32 gr/mol

CAS Number : 7782-44-7

Bentuk : Gas

Warna : Tidak Berwarna

Bau : Tidak Berbau

Kemurnian : 100%

Specific Gravity : 1,1044

Titik Leleh : -218,4 °C

Titik Didih : -183 °C

Titik Kritis : -118,6 °C

Kelarutan dalam Air : 0,039 mg/L

Densitas : 1,43 kg/m^3

b. Nitrogen

Rumus : N_2

Berat Molekul : 28,01 gr/mol

CAS Number : 7727-37-9

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau

Kemurnian : 100%

Specific Gravity : 0,967

Titik Leleh : -210,01 °C

Titik Didih : -196 °C

Titik Kritis : -147 °C

Kelarutan dalam Air : 20 mg/L

Densitas : 1,25 kg/m^3

c. Argon

Rumus : Ar

Berat Molekul : 39,95 gr/mol

CAS Number : 7440-37-1

Bentuk : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau	: Tidak berbau
Kemurnian	: 100%
Specific Gravity	: 1,38
Titik Leleh	: -189,2 °C
Titik Didih	: -185,9 °C
Titik Kritis	: -122 °C
Kelarutan dalam Air	: 67,3 mg/L
Densitas	: 1,784 kg/m^3

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas (*quality control*) sangat penting untuk menjamin bahwa produk karbon hitam yang dihasilkan benar-benar memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pengendalian tersebut mencakup tiga aspek utama, yaitu kualitas bahan baku, pengendalian proses produksi, dan kualitas produk akhir. Dengan menerapkan sistem pengendalian ini secara menyeluruh, kebutuhan konsumen dapat dipenuhi dengan baik dan risiko kegagalan proses produksi dapat diminimalkan. Selain itu, pengawasan mutu tidak hanya terbatas pada bahan baku dan produk akhir, tetapi juga meliputi bahan pendukung, produk setengah jadi, serta faktor-faktor yang menunjang proses mutu secara keseluruhan.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku memiliki peran penting dalam memastikan kesesuaian spesifikasi bahan yang digunakan sehingga proses produksi dapat berlangsung optimal dan menghasilkan produk karbon hitam dengan mutu yang konsisten. Pada proses produksi berbasis gas alam, bahan baku utama berupa metana (CH_4) harus dijaga dalam kondisi operasi yang stabil sebelum dialirkan ke reaktor. Salah satu aspek penting dalam pengendalian mutu bahan baku adalah pemilihan serta pengelolaan sistem penyimpanan yang tepat untuk mencegah terjadinya kontaminasi dan menjaga stabilitas kualitas bahan baku selama masa penyimpanan (Gautier, Rohani, & Fulcheri, 2017).

2.3.2 Pengendalian Proses Produksi

Untuk menjaga kualitas hasil produksi karbon hitam agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, diperlukan sistem pengendalian proses. Pengendalian proses produksi dilakukan melalui sistem terpadu yang terdiri atas rangkaian peralatan kendali yang berpusat di ruang kontrol serta di dukung oleh sistem kontrol otomatis. Fungsi utama dari sistem pengendali ini adalah memantau jalannya operasi secara terus menerus, sehingga apabila terdeteksi adanya penyimpangan dari kondisi normal, sistem akan secara otomatis memberikan sinyal peringatan berupa bunyi, nyala lampu, atau indikator lainnya.

Beberapa peralatan kontrol yang digunakan berfungsi untuk mengatur dan menjaga kondisi operasi, khususnya parameter temperatur dan tekanan, agar tetap berada pada nilai yang telah ditetapkan. Peralatan kontrol tersebut meliputi:

a. *Temperature Control*

Temperature control digunakan untuk menjaga suhu reaktor pembentukan karbon hitam tetap konstan pada kisaran optimum, umumnya antara 1400–1800°C. Pengendalian suhu ini penting karena mempengaruhi ukuran partikel, struktur, dan kemurnian karbon hitam. Sistem kontrol suhu diatur melalui pengendalian laju pembakaran bahan bakar dan suplai udara pembakaran menggunakan *control valve* otomatis (Jiang, et al., 2023).

b. *Pressure Control*

Pressure control berfungsi untuk menjaga tekanan operasi reaktor tetap stabil. Tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *over-combustion* dan pembentukan karbon yang tidak seragam, sedangkan tekanan terlalu rendah dapat menurunkan yield karbon hitam. *Pressure control* biasanya dihubungkan dengan katup pelepas tekanan (*pressure relief valve*) dan sistem alarm otomatis agar tekanan tetap dalam batas aman.

c. *Flow Control*

Flow control digunakan untuk mengatur laju aliran bahan bakar, udara pembakaran, serta aliran *feedstock* hidrokarbon ke dalam reaktor. Pengendalian ini penting untuk menjaga rasio stoikiometri pembakaran serta distribusi panas yang merata di dalam reaktor. Sistem *flow control* disesuaikan terhadap *set point* yang ditentukan berdasarkan kondisi operasi optimum (Wang, Gray, Reznek, Mahmud, & Kutsovsky, 2003).

d. Level Control

Level control digunakan pada unit pengumpul atau silo produk karbon hitam untuk menjaga kapasitas dan mencegah penumpukan berlebih. Jika level produk melebihi batas, sistem akan memberikan sinyal berupa lampu peringatan atau alarm bunyi agar operator dapat melakukan tindakan pengosongan.

2.3.3 Pengendalian Kuliatas Produk

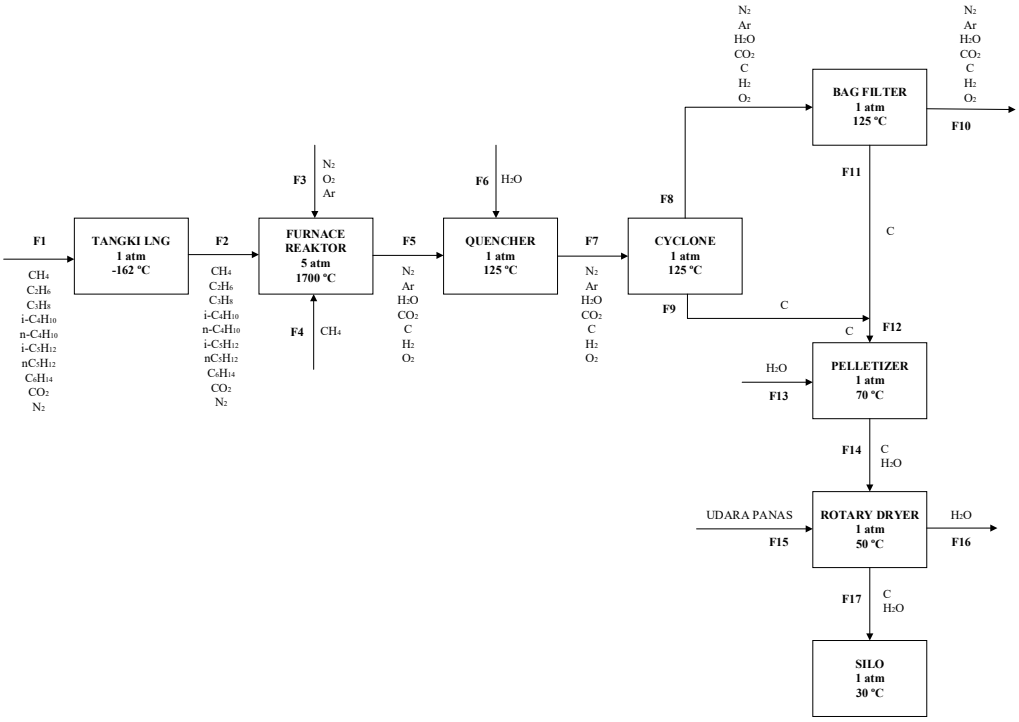
Pengendalian kualitas produk bertujuan memastikan bahwa hasil produksi karbon hitam telah memenuhi spesifikasi teknis dan standar mutu yang berlaku. Kualitas akhir produk sangat dipengaruhi oleh tahapan sebelumnya. Oleh karena itu, untuk mencapai produk yang konsisten dan berkualitas tinggi, diperlukan pemilihan bahan baku yang tepat serta pengawasan dan pengendalian yang ketat terhadap seluruh proses produksi (Norris, Cerdan, Eaton, & Murfitt, 2025).

BAB III

PERANCANGAN PROSES

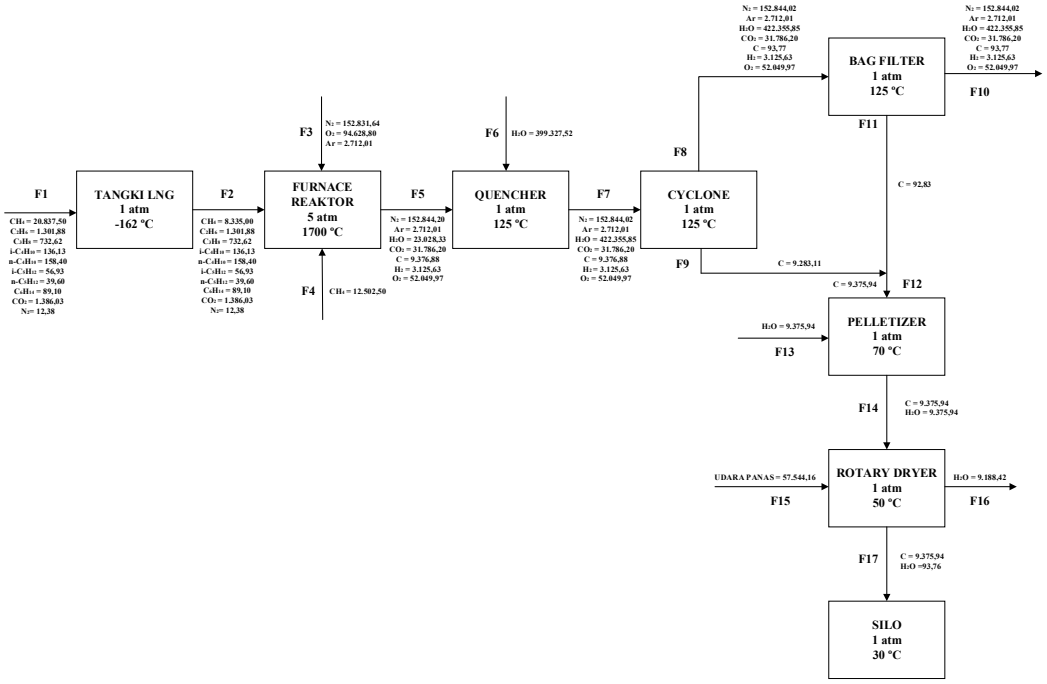
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Pabrik karbon hitam ini dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 75.000 ton per tahun dengan menggunakan gas alam (metana) sebagai bahan baku utama. Pada proses produksi dengan metode *furnace*, terjadi dua mekanisme reaksi utama. Mekanisme pertama adalah reaksi pembakaran, yang menghasilkan produk berupa gas sintesis dan karbon. Mekanisme kedua adalah reaksi perengkahan, yang menghasilkan karbon hitam dan gas hidrogen sebagai produk. Secara keseluruhan, proses yang berlangsung dalam pabrik ini dapat dibagi ke dalam beberapa tahapan proses, yaitu:

3.2.1 Proses Persiapan Bahan Baku

Udara yang digunakan sebagai bahan baku diambil dari lingkungan sekitar dan terlebih dahulu melalui proses penyaringan menggunakan filter udara untuk menghilangkan partikel-partikel pengotor yang terbawa. Setelah proses penyaringan, udara kemudian dinaikkan suhu dan tekanannya hingga mencapai 100 °C dan 5 atm dengan bantuan *heat exchanger* (HE) dan kompresor agar sesuai dengan kondisi operasi proses.

Di sisi lain, bahan baku gas alam diperoleh dari PT Badak LNG dan disimpan dalam tangki penyimpanan pada suhu sekitar −162 °C untuk mempertahankan fasenya. Selanjutnya, udara dan gas alam tersebut dialirkan menuju ruang pembakaran sebelum memasuki tahap reaksi pada proses berikutnya.

3.2.2 Tahap Pembuatan Karbon Hitam

Reaktor yang digunakan merupakan reaktor *furnace* yang dilengkapi dengan *shell*. Bagian luar *shell* dilapisi isolasi *fiber blanket* yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas ke lingkungan sekitar. Reaksi di dalam reaktor berlangsung secara adiabatis dan bersifat endotermis, dengan kondisi operasi pada tekanan 5 atm dan suhu reaksi sekitar 1700 °C. Pada tahap awal, terjadi proses pembakaran antara gas alam dan oksigen yang menghasilkan uap air, karbon dioksida, serta beberapa hidrokarbon lainnya. Energi panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut kemudian dimanfaatkan untuk

mendukung proses dekomposisi termal, sehingga terbentuk produk utama berupa gas hidrogen dan karbon hitam.

3.2.3 Tahap Pendinginan

Produk hasil reaksi dari reaktor yang mengandung karbon hitam kemudian dialirkan ke dalam *quencher* untuk mengalami proses pendinginan secara cepat. Pendinginan dilakukan dengan menyemprotkan air, sehingga suhu campuran gas dan partikel karbon hitam turun secara drastis dari sekitar 1700 °C menjadi 125 °C. Proses pendinginan mendadak ini bertujuan untuk menghentikan reaksi yang masih berlangsung, sehingga pembentukan karbon hitsm dapat dikendalikan dan tidak terjadi reaksi lanjutan yang tidak diinginkan.

3.2.4 Tahap Pemisahan

Dari *quencher*, campuran karbon hitam dan gas-gas hasil reaksi selanjutnya dialirkan menuju *cyclone* untuk proses pemisahan awal. Pada alat ini, sebagian partikel karbon hitam dipisahkan dari aliran gas berdasarkan perbedaan gaya sentrifugal.

Partikel karbon hitam yang masih terbawa bersama aliran gas kemudian ditangkap lebih lanjut menggunakan *bag filter*, sehingga gas yang keluar dari sistem pemisahan tersebut hampir tidak lagi mengandung partikel karbon hitam. Karbon hitam yang terkumpul di *bag filter* kemudian digabungkan dengan karbon hitam yang telah terpisah di *cyclone*, dan selanjutnya dialirkan menuju *pelletizer* untuk diproses lebih lanjut.

3.2.5 Tahap Pelletisasi dan Pengeringan

Pada tahap ini, karbon hitam yang masih berbentuk serbuk halus dicampurkan dengan sejumlah air sebagai bahan pengikat, kemudian diproses di dalam *pelletizer* hingga terbentuk butiran atau pellet dengan ukuran yang lebih seragam.

Selanjutnya, pellet karbon hitam yang masih mengandung kadar air dialirkan ke *rotary dryer* untuk proses pengeringan. Pada alat ini, pellet dikeringkan dengan aliran udara panas sehingga kadar airnya berkurang dan diperoleh produk karbon hitam dalam bentuk pellet yang kering, sehingga lebih mudah untuk ditangani, disimpan, dan didistribusikan.

3.2.6 Tahap Penyimpanan

Produk disimpan sementara di dalam silo untuk menjaga kualitas serta kestabilan produk sebelum dilakukan proses penanganan lebih lanjut, seperti pengemasan atau distribusi. Penyimpanan di silo juga berfungsi untuk menampung produk dalam jumlah besar dan mempermudah pengaturan aliran produk ke tahap berikutnya.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Reaktor

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	Reaktor
Kode	R-01

Spesifikasi Umum	
Fungsi	Tempat terjadinya pembakaran dan perengkahan gas alam menjadi karbon hitam dan hidrogen.
Jumlah (buah)	1
Harga	$423.066
Kondisi Operasi	
T (°C)	1700
P (atm)	5
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-285A*
Zona Pembakaran	
Diameter (m)	0,76
Panjang (m)	1,59
Volume (m3)	1,89
Zona Pencampuran	
Diameter (m)	0,76
Panjang (m)	2,69
Volume (m3)	1,89
Throat	
Bentuk	Kerucut Terpenggal
Diameter (m)	0,38
Panjang (m)	0,91
Volume (m3)	0,54
Zona Reaksi	
Diameter (m)	0,45
Panjang (m)	4,74
Volume (m3)	0,77
Insulasi	
Jenis	*Fiber blanket*
Tebal (in)	10,17

3.3.2 Spesifikasi Alat Pendukung dan Pemisah

a. Filter Udara

Tabel 3.2 Spesifikasi Filter Udara

Spesifikasi Umum		
Nama Alat	Filter Udara	Filter Udara
Kode	FU-01	FU-02
Fungsi	Menyaring udara bebas dari debu dan komponen yang lain	Menyaring udara bebas dari debu dan komponen yang lain

Spesifikasi Umum		
	sebelum dialirkan oleh *blower.*	sebelum dialirkan oleh *blower.*
Jenis	*Dry Filter*	*Dry Filter*
Bahan	*Carbon Steel*	*Carbon Steel*
Rate Udara (ft^3/jam)	202.380,38	57.544,16
Harga	$21.904	$13.768
Dimensi		
Diameter Bag (in)	24	24
Panjang Bag (ft)	24	24
Jumlah (buah)	81	23

b. Cyclone

Tabel 3.3 Spesifikasi *Cyclone*

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	*Cyclone*
Kode	CY-01
Fungsi	Memisahkan dan mengumpulkan padatan karbon hitam dari aliran gas keluar *quencher*.
Jumlah (buah)	1
Harga	$235.690
Kondisi Operasi	
Suhu (°C)	125
Tekanan (atm)	1
Kecepatan gas masuk (ft^3/s)	5.582,40
Diameter silinder (DC) (ft)	12,76
Dimensi	
Panjang silinder (LC) (ft)	25,52
Panjang konis (ZC) (ft)	38,28
Diameter gas outlet (SC) (ft)	1,60
Diameter *dust out* (JC) (ft)	3,19
Tinggi (HC) (ft)	63,81

c. *Bag Filter*

Tabel 3.4 Spesifikasi *Bag Filter*

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	*Bag Filter*
Kode	BF-01
Fungsi	Menangkap atau mengumpulkan partikel karbon hitam dari aliran gas menara *cyclone*
Jenis	*Conical hopper*
Harga	$28.163
Kondisi Operasi	
Suhu (°C)	125
Tekanan (atm)	1
Dimensi	
Volume (ft^3)	14.348,80
Diameter (m)	14,59
Tinggi (m)	7,20
Tebal (in)	0,74
Jumlah *Bag* (buah)	5

d. *Rotary Dryer*

Tabel 3.5 Spesifikasi *Rotary Dryer*

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	*Rotary Dryer*
Kode	RD-01
Fungsi	Mengeringkan karbon hitam dengan kapasitas umpan
Jenis	*Direct contact - counter current rotary dryer*
Bahan Konstruksi	*Stailess Steel SA 167 Grade C*
Jumlah (buah)	1
Harga	$505.552
Kondisi Operasi	
Laju Alir Bahan (Kg/Jam)	18.751,88
Suhu Udara Masuk (°C)	200
Suhu Udara Keluar (°C)	68,8
Suhu Bahan Masuk (°C)	37
Suhu Bahan Keluar (°C)	50
Massa Udara (Kg/Jam)	59.299,92

Dimensi	
Diameter (m)	2,20
Panjang (m)	8,81
Kecepatan Putar (rpm)	4,3
Sudut Kemiringan (°)	4.57
Power (hp)	7,5

e. Kompresor

Tabel 3.6 Spesifikasi Kompresor

Spesifikasi Umum		
Nama Alat	Kompresor	Kompresor
Kode	K-01	K-02
Fungsi	Menaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 5 atm sebelum masuk R-01	Menaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 5 atm sebelum masuk R-01
Jenis	*Centifugal multistage*	*Centifugal multistage*
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA 203 Grade C*	*Carbon Steel SA 203 Grade C*
Jumlah (buah)	1	1
Power (hp)	125	5
Harga	$96.754	$67.966
Kondisi Operasi		
Tekanan Masuk (atm)	1	1
Tekanan Keluar (atm)	5	5
Suhu Masuk (°C)	100	100
Suhu Keluar (°C)	116	100
Jumlah Stage (buah)	2	2

f. Expansion Valve

Tabel 3.7 Spesifikasi *Expansion Valve*

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	*Expansion Valve*
Kode	EV-01
Fungsi	Menurunkan tekanan dari 5 atm menjadi 1 atm sebelum masuk *quencher*

Spesifikasi Umum	
Jenis	*Globe Valve*
Bahan Konstruksi	*Commercial Stainless Steel AISI Type 316*
Jumlah (buah)	1
Kapasitas (Kg/Jam)	222.873,06
Harga	$52.000
Kondisi Operasi	
Suhu (°C)	1700
Tekanan Masuk (atm)	5
Tekanan Keluar (atm)	1
Dimensi	
ID (in)	7,98
OD (in)	8,63
a't (in^2)	50
Le (ft)	180

g. Pelletizer

Tabel 3.8 Spesifikasi *Pelletizer*

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	*Pelletizer*
Kode	PL-01
Fungsi	Membuat bubuk karbon hitam menjadi pellet karbon hitam
Harga	$203.898
Kondisi Operasi	
Suhu Masuk (°C)	70
Suhu Keluar (°C)	37
Tekanan (atm)	1
Dimensi	
Luas Penampang (m^2)	0,45
Diameter (m)	0,76
Panjang (m)	3,50
Tebal (in)	0,19
Panjang *Shell* (m)	3,5
Power (hP)	12,29

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

a. Tangki Penyimpanan Bahan Baku

Tabel 3.9 Spesifikasi Tangki

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	Tangki Penyimpanan LNG
Kode	T-01
Fungsi	Menyimpan bahan baku
Fase	Cair
Jenis	Tangki silinder tegak dengan *torispherical head* dan *flat bottom*
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel A 283 Grade C*
Kapasitas (Kg)	4.158.094,92
Harga	$328.500
Kondisi Operasi	
Suhu (°C)	-162
Tekanan (atm)	1
Dimensi	
Volume (m^3)	12.959,62
Diameter (m)	30,48
Tinggi Standar (m)	10,97
Course Plate	6
Tebal *Shell* (in)	0,19
Tebal *Head* (in)	1,75
Tebal *Bottom* (in)	0,19

b. Silo

Tabel 3.10 Spesifikasi Silo

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	Silo
Kode	S-01
Fungsi	Menyimpan karbon hitam untuk produksi selama 14 hari.
Jenis	Tangki silinder vertikal dengan *conical bottom*
Jumlah (buah)	1
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
Kapasitas (m^3)	9.612,98
Harga	$367.700
Kondisi Operasi	
Suhu (°C)	30
Tekanan (atm)	1
Dimensi	

Sudut Dasar (°)	45
Diameter (m)	30,72
Tinggi *Shell* (m)	61,43
Tinggi *Bottom* (m)	15,36
Tinggi Total (m)	76,79
Panjang *Hopper* (m)	1,57
Lebar *Hopper* (m)	1,57
Tinggi *Hopper* (m)	2,36
Tebal *Hopper* (in)	0,19

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

a. Cooling Screw Conveyor

Tabel 3.11 Spesifikasi *Cooling Screw Conveyor*

Spesifikasi Umum			
Nama Alat	*Cooling Screw Conveyor*	*Screw Conveyor*	*Cooling Screw Conveyor*
Kode	CSC-01	SC-01	CSC-02
Fungsi	Memindahkan karbon hitam dari produk bawah CY-01 menuju PL-01	Memindahkan karbon hitam dari menuju PL-01 menuju RD-01	Memindahkan karbon hitam dari RD-01 menuju BE-01
Jumlah (buah)	1	1	1
Kapasitas (Ton/Jam)	9,38	18,75	9,47
Jenis	*Horizontal screw conveyor*		
Harga	$7.886	$9.388	$7.886
Spesifikasi *Conveyor*			
Panjang (ft)	30	30	30
Diameter *Screw* (in)	10	12	10
Diameter Pipa (in)	2,5	2,5	2.5
Diameter Poros (in)	2	2	2
Kecepatan (rpm)	55	60	55
Power (hp)	2	3	2
Spesifikasi Pendingin			

Media Pendingin	Air	Air	Air
Tebal Jaket (m)	0,0048	0,0048	0,0048
Panjang Jaket (m)	8,23	8,23	8,23
ID Jaket (m)	0,25	0,30	0,25
OD Jaket (m)	0,26	0,31	0,26
Kebutuhan Air (Kg/Jam)	3,92	1,29	2,18

b. Bucket Elevator

Tabel 3.12 Spesifikasi *Bucket Elevator*

Spesifikasi Umum	
Nama Alat	*Bucket Elevator*
Kode	BE-01
Fungsi	Mengangkut produk berupa karbon hitam dari RD-01 menuju S-01
Jumlah (buah)	1
Kapasitas (Ton/Jam)	9,38
Harga	$13.518
Dimensi	
Ukuran *Bucket* (mm)	6 x 4 x 4 $^{1}/_{2}$
Tinggi *Elevator* (ft)	25
Jarak Antar *Bucket* (mm)	12
Bucket Speed (ft/min)	225
Kecepatan Putar (rpm)	43
Lebar *Belt* (in)	7
Power Poros (hp)	1
Efisiensi (%)	80
Power Total (hp)	2

c. Pompa

Tabel 3.13 Spesifikasi Pompa

Spesifikasi Umum			
Nama Alat	Pompa	Pompa	Pompa
Kode	P-01	P-02	P-03

Spesifikasi Umum			
Fungsi	Mengalirkan LNG menuju HE-02	Mengalirkan H_2O menuju Q-01	Mengalirkan H_2O menuju PL-01
Jenis	*Centrifugal Pump Single Stage*	*Centrifugal Pump Single Stage*	*Centrifugal Pump Single Stage*
Impeller	*Mixed Flow Impeller*	*Axial Flow Impeller*	*Mixed Flow Impeller*
Kapasitas (m^3/jam)	128,89	467,64	11,00
Harga	$10.389	$15.270	$5.382
Dimensi			
OD (in)	8,63	14	3,50
ID (in)	7,63	13,25	3,07
NPS (in)	8	14	3
Flow Area (in^2)	45,70	138	7,38
Power (hP)	2	25	0,75
Putaran (rpm)	5396,42	10102,25	1697,47

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Heat Exchanger

Tabel 3.14 Spesifikasi *Heat Exchanger*

Spesisifikasi Umum			
Nama Alat	*Heat Exchanger*	*Heat Exchanger*	*Heat Exchanger*
Kode	HE-01	HE-02	HE-03
Fungsi	Memanaskan bahan baku udara dari 30 °C hingga 100 °C	Memanaskan bahan baku dari -162 °C hingga 100 °C	Memanaskan udara dari 30 °C ke 210 °C sebelum masuk ke RD-01
Jumlah (buah)	1	1	1
Jenis	*Shell and Tube*	*Shell and Tube*	*Shell and Tube*
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
Jumlah Tube (buah)	78	240	58
Harga	$35.548	$89.745	$27.662

Hot Fluid			
BWG (in)	18	18	18
IDt (in)	1,15	1,15	1,15
ODt (in)	1,25	1,25	1,25
Flow Area (in^2)	1,04	1,04	1,04
Passes (ft^2/ft)	1	1	1
Cold Fluid			
IDs (in)	23,25	23,25	23,25
Baffle (in)	13,95	13,95	13,95
Passes	4	4	4
A (ft^2)	510,28	1.570,08	379,44
Ud (Btu/hr.ft².F)	193,61	197,45	193,28
Uc	2.187,28	10.432,24	1.500,07
Rd min	0,0010	0,0010	0,0010
Rd	0,0047	0,0050	0,0045

b. Quencher

Tabel 3.15 Spesifikasi *Quencher*

Spesisifikasi Umum	
Nama Alat	*Quencher*
Kode	Q-01
Fungsi	Menurunkan suhu bahan dari 1700 °C menjadi 125 °C
Jumlah	1
Jenis	Tangki silinder tegak dengan *torispherical head* dan *bottom*
Tipe Atap Tangki	*Torispherical*
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-283 C*
Kapasitas Tangki (Kg)	674.250,54
Harga	$254.841
Kondisi Operasi	
Suhu (°C)	125
Tekanan (atm)	1
Dimensi	
Volume Tangki (m^3)	989,81
Diameter Standar Tangki (m)	13,65
Tinggi Standar Tangki (m)	27,23
Tinggi Puncak *Head* (m)	2,54
Tebal *Head* Standar (in)	1,25
Tinggi Total Tangki (m)	29,76

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3.16 Neraca Massa Total

Komponen	Input (Kg/Jam)						Output (Kg/Jam)		
	F1	F3	F4	F6	F13	F15	F10	F16	F17
CH_4	8.335,00	-	12.502,50	-	-	-	-	-	-
C_2H_6	1.301,88	-	-	-	-	-	-	-	-
C_3H_8	732,62	-	-	-	-	-	-	-	-
i-C_4H_{10}	136,13	-	-	-	-	-	-	-	-
n-C_4H_{10}	158,40	-	-	-	-	-	-	-	-
i-C_5H_{12}	56,93	-	-	-	-	-	-	-	-
n-C_5H_{12}	39,60	-	-	-	-	-	-	-	-
C_6H1_4	89,10	-	-	-	-	-	-	-	-
CO_2	1.386,03	-	-	-	-	-	31.786,20	-	-
N_2	12,38	152.831.64	-	-	-	46.307,31	152.844,02	46.307,31	-
O_2	-	94.628.80	-	-	-	12.417,40	52.049,97	12.417,40	-
Ar	-	2.712.01	-	-	-	575,31	2.712,01	575,31	-
H_2O	-	-	-	399.327,52	9.375,94	-	422.355,85	9.282,18	93,76
C	-	-	-	-	-	-	0.94	-	9.375,94
H_2	-	-	-	-	-	-	3.125,63	-	-
Subtotal	**12.248,06**	**250.172,46**	**12.502,50**	**399.327,52**	**9.375,94**	**59.299,92**	**664.874,60**	**68.582,10**	**9.469,70**
Total	**742.926,40**						**742.926,40**		

3.4.2 Neraca Massa Alat

a. *Furnace Reactor* (R-01)

Tabel 3.17 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input (Kg/Jam)			Ouput (Kg/Jam)
	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5
CH_4	8.335,00	-	12.502,50	-
C_2H_6	1.301,88	-	-	-
C_3H_8	732,62	-	-	-
i-C_4H_{10}	136,13	-	-	-
n-C_4H_{10}	158,40	-	-	-
i-C_5H_{12}	56,93	-	-	-
n-C_5H_{12}	39,60	-	-	-
C_6H1_4	89,10	-	-	-
CO_2	1.386,03	-	-	31.786,20
N_2	12,38	152.831,64	-	152.844,02
O_2	-	94.628,80	-	52.049,97
Ar	-	2.712,01	-	2.712,01
H_2O	-	-	-	23.028,33
C	-	-	-	9.376,88
H_2	-	-	-	3.125,63
Total		**274.923,02**		**274.923,02**

b. *Quencher* (Q-01)

Tabel 3.18 Neraca Massa *Quencher*

Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
	Arus 5	Arus 6	Arus 7
CH_4	-	-	-
C_2H_6	-	-	-
C_3H_8	-	-	-
i-C_4H_{10}	-	-	-
n-C_4H_{10}	-	-	-
i-C_5H_{12}	-	-	-
n-C_5H_{12}	-	-	-
C_6H1_4	-	-	-
CO_2	31.786,20	-	31.786,20
N_2	152.844,02	-	152.844,02
O_2	52.049,97	-	52.049,97
Ar	2.712,01	-	2.712,01

Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
	Arus 5	Arus 6	Arus 7
H_2O	23.028,33	399.327,52	422.355,85
C	9.376,88	-	9.376,88
H_2	3.125,63	-	3.125,63
Total	**674.250,54**		**674.250,54**

c. *Cyclone* (CY-01)

Tabel 3.19 Neraca Massa *Cyclone*

Komponen	Input (Kg/Jam)	Output (Kg/Jam)	
	Arus 7	Arus 8	Arus 9
CO_2	31.786,20	31.786,20	-
N_2	152.844,02	152.844,02	-
O_2	52.049,97	52.049,97	-
Ar	2.712,01	2.712,01	-
H_2O	422.355,85	422.355,85	-
C	9.376,88	93,77	9.283,11
H_2	3.125,63	3.125,63	-
Total	**674.250,55**	**674.250,55**	

d. *Bag Filter* (BF-01)

Tabel 3.20 Neraca Massa *Bag Filter*

Komponen	Input (Kg/Jam)	Output (Kg/Jam)	
	Arus 8	Arus 10	Arus 11
CO_2	31.786,20	31.786,20	-
N_2	152.844,02	152.844,02	-
H_2O	422.355,85	422.355,85	-
C	93,77	0,94	92,83
H_2	3.125,63	3.125,63	-
O_2	52.049,97	52.049,97	-
Ar	2.712,01	2.712,01	-
Total	**610.205,46**	**610.205,46**	

e. *Pelletizer* (PL-01)

Tabel 3.21 Neraca Massa *Pelletizer*

Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
	Arus 12	**Arus 13**	**Arus 14**
C	9.375,94	-	9.375,94
H_2O	-	9.375,94	9375,94
Total	**1.8751,88**		**1.8751,88**

f. *Rotary Dryer* (RD-01)

Tabel 3.22 Neraca Massa *Rotary Dryer*

Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)	
	Arus 14	**Arus 15**	**Arus 16**	**Arus 17**
C	9375.94	-	-	9375.94
H_2O	9375.94	-	9282.18	93.76
Udara	-	57544.16	57544.16	-
Total	**76.296,04**		**76.296,04**	

3.5 Neraca Panas

a. *Furnace Reactor* (R-01)

Tabel 3.23 Neraca Panas Reaktor

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Panas dari *fuel* (Qfuel)	696.389.605,38	-
Enthalpy masuk	22.040.640,27	-
Enthalpy keluar	-	717.327.856,26
Enthalphy reaksi	-357,38	-
Total panas hilang (Q*loss*)	-	1.102.032,01
Total	**718.429.888,28**	**718.429.888,28**

b. *Quencher* (Q-01)

Tabel 3.24 Neraca Panas *Quencher*

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q *Input*	838.461.460,43	-
Q *Output*	-	34.535.305,155
Q Pendingin	-	803.926.155,274
Total	**838.461.460,43**	**838.461.460,43**

c. *Cyclone* (CY-01)

Tabel 3.25 Neraca Panas *Cyclone*

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q *Input*	11.6501.273,97	-
Q *Output*	-	116.501.273,97
Total	**116.501.273,97**	**116.501.273,97**

d. *Bag Filter* (BF-01)

Tabel 3.26 Neraca Panas *Bag Filter*

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q *Input*	111.729.851,50	-
Q *Output*	-	111.729.851,50
Total	**111.729.851,50**	**111.729.851,50**

e. *Pelletizer* (PL-01)

Tabel 3.27 Neraca Panas *Pelletizer*

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q *Input*	1.968.616,64	-
Q *Output*	-	1.968.616,64
Total	**1.968.616,64**	**1.968.616,64**

f. *Rotary Dryer* (RD-01)

Tabel 3.28 Neraca Panas *Rotary Dryer*

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
C	170.157,58	278.436,90
H2O	1.158.146,04	12.080,29
Q *supply*	20.302.730,79	-
Q penguapan	-	21.340.517,22
Total	**21.631.034,42**	**21.631.034,42**

g. *Heat Exchanger* (HE-01)

Tabel 3.29 Neraca Panas *Heat Exchanger* 1

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Masuk	1.016.306,34	-
Keluar	-	15.294.648,73
Steam	14.278.342,39	-
Total	**15.294.648,73**	**15.294.648,73**

h. *Heat Exchanger* (HE-02)

Tabel 3.30 Neraca Panas *Heat Exchanger* 2

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Masuk	-33.090.222,32	-
Keluar	-	49.407.864,97
Steam	82.498.087,30	-
Total	**49.407.864,97**	**49.407.864,97**

i. Kompresor (K-01)

Tabel 3.31 Neraca Panas Kompresor 1

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Input	18.657.153,85	-
Output	-	22.662.908,19
Q dibutuhkan	4.005.754,34	-
Total	**22.662.908,19**	**22.662.908,19**

j. Kompresor (K-02)

Tabel 3.32 Neraca Panas Kompresor 2

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Input	49.581.881,60	-
Output	-	49.868.093,51
Q dibutuhkan	286.211,91	-
Total	**49.868.093,51**	**49.868.093,51**

k. *Cooling Screw Conveyor* (CSC-01)

Tabel 3.33 Neraca Panas CSC-01

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q masuk	756.689,45	-
Q keluar	-	315.684,32
Q pendingin	-	441.005,13
Total	**756.689,45**	**756.689,45**

l. *Cooling Screw Conveyor* (SC-01)

Tabel 3.34 Neraca Panas SC-01

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q masuk	315.684,32	-
Q keluar	-	170.235,60
Q pendingin	-	145.448,72
Total	**315.684,32**	**315.684,32**

m. *Cooling Screw Conveyor* (CSC-02)

Tabel 3.35 Neraca Panas CSC-02

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q masuk	278.560,79	-
Q keluar	-	33.004,42
Q pendingin	-	245.556,37
Total	**278.560,79**	**278.560,79**

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan pabrik karena sangat memengaruhi keberlangsungan operasional maupun kelayakan ekonomi secara keseluruhan, mulai dari tahap produksi hingga distribusi dan pemasaran. Oleh karena itu, penentuan lokasi harus mempertimbangkan berbagai aspek penting, seperti ketersediaan bahan baku, akses pasar, sarana transportasi, kondisi lingkungan sekitar, ketersediaan sumber daya manusia (SDM), serta fasilitas pendukung lainnya.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, pabrik karbon hitam dari gas alam dengan kapasitas 75.000 ton/tahun ini direncanakan akan didirikan di Bontang, Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada analisis berbagai faktor yang dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu faktor utama dan faktor pendukung, yang secara keseluruhan diharapkan mampu menunjang efisiensi operasional serta meningkatkan nilai ekonomis pabrik.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Pabrik

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor primer merupakan faktor penting yang menentukan kelancaran operasional pabrik serta pencapaian tujuan pabrik dan distribusi. Faktor primer dalam penentuan lokasi pabrik meliputi:

1. Ketersediaan Bahan Baku

   Ketersediaan bahan baku merupakan faktor utama dalam penentuan lokasi pabrik karena berperan langsung terhadap kelangsungan operasional pabrik. Pabrik karbon hitam ini memiliki bahan baku utama berupa gas alam yang diperoleh dari PT. Badak LNG yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur.

   Penentuan lokasi pabrik pada Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, dipilih karena berlokasi dekat dengan gas alam dari PT. Badak LNG.

2. Sarana Transportasi

   Sarana dan prasarana transportasi sangat penting untuk mendukung pemasokan bahan baku dan distribusi produk. Lokasi pabrik yang berada di Bontang, Kalimantan Timur, memiliki jalur transportasi yang baik sehingga faktor pengangkutan dapat berjalan dengan lancar.

3. Utilitas

   Kebutuhan utilitas seperti air dan listrik diperlukan untuk menunjang operasional pabrik berjalan dengan baik. Di Bontang, kebutuhan utilitas tersebut dapat terpenuhi dengan baik. Kebutuhan air proses maupun

utilitas pendukung dapat diperoleh dari sumber air setempat yang tersedia di kawasan industri. Sedangkan kebutuhan listrik didapatkan dari PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang telah dijangkau oleh wilayah tersebut.

4. Tenaga Kerja

Keberhasilan dalam suatu perusahaan salah satunya dipengaruhi oleh sumber daya manusia (SDM) dan tenaga kerja yang berkualitas. Bontang merupakan salah satu kawasan industri di Indonesia, sehingga memiliki ketersediaan tenaga kerja yang terampil maupun tidak terampil. Selain itu, pendirian lokasi pabrik pada wilayah ini juga dapat membuat banyak lapangan pekerjaan baru.

5. Pemasaran

Karbon hitam banyak digunakan pada industri ban, karet, plastik, dan pigmen warna. Lokasi pabrik di Bontang dinilai strategis dikarenakan berada di kawasan industri di Indonesia, sehingga memudahkan untuk proses distribusi ke konsumen.

6. Kondisi Iklim

Secara umum, wilayah Bontang beriklim tropis dengan suhu udara rata-rata berkisar antara 24 - 32 °C serta tingkat kelembapan sekitar 70–90% sehingga dinilai stabil untuk mendukung kegiatan operasional (BMKG, 2026). Selain itu, wilayah Bontang berada di

daerah yang relatif aman dari bencana alam, seperti gempa bumi dan tanah longsor.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor sekunder merupakan faktor pendukung dalam penentuan lokasi pabrik. Faktor sekunder dalam penentuan lokasi pabrik meliputi:

1. Perluasan Pabrik

   Penentuan lokasi pabrik yang akan dibangun dilakukan dengan mempertimbangkan perluasan area pabrik dalam jangka waktu 10 hingga 20 tahun kedepan. Hal ini berkaitan dengan kemungkinan peningkatan kapasitas produksi maupun pengembangan unit proses pada masa mendatang.

2. Peraturan Pemerintah

   Peraturan pemerintah menjadi salah satu faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik karena berkaitan dengan kebijakan operasional, perizinan, serta keamanan suatu pabrik. Lokasi pabrik di Bontang berada di kawasan industri, sehingga lebih memudahkan dalam proses perizinan.

4.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik adalah perencanaan pengaturan unit, bagian, atau departemen pada pabrik sesuai dengan luas area serta tanah yang tersedia. Tata letak pabrik sangat diperlukan untuk menunjang efisiensi, keselamatan kerja,

serta kelancaran operasional. Secara umum, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa bagian, diantaranya:

a. Bagian Administrasi dan Perkantoran

Bagian administrasi dan perkantoran merupakan bagian pusat dari menajemen pabrik. Bagian ini meliputi pengelolaan data, sumber daya manusia, keuangan, serta rencana operasional pabrik.

b. Bagian Proses dan Ruang Kontrol

Bagian proses merupakan bagian alat proses berada dan proses dalam pabrik tersebut berlangsung. Pada bagian ini juga terdapat laboratorium sebagai pusat tempat pengendalian kualitas dan kuantitas bahan baku serta produk yang dihasilkan. Sedangkan ruang kontrol merupakan pusat pengendalian proses produksi agar berjalan sesuai yang diinginkan.

c. Bagian Pergudangan

Bagian ini merupakan tempat penyimpanan bahan baku dan produk yang telah dihasilkan.

d. Bagian Utilitas

Bagian utilitas merupakan tempat penyedian bahan pendukung keberlangsungan proses produksi, seperti air, *steam*, dan listrik.

e. Bagian Bengkel (*Maintenance*) dan Garasi

Bagian bengkel (*maintenance*) dan garasi merupakan tempat perawatan alat proses serta penyimpanan alat cadangan.

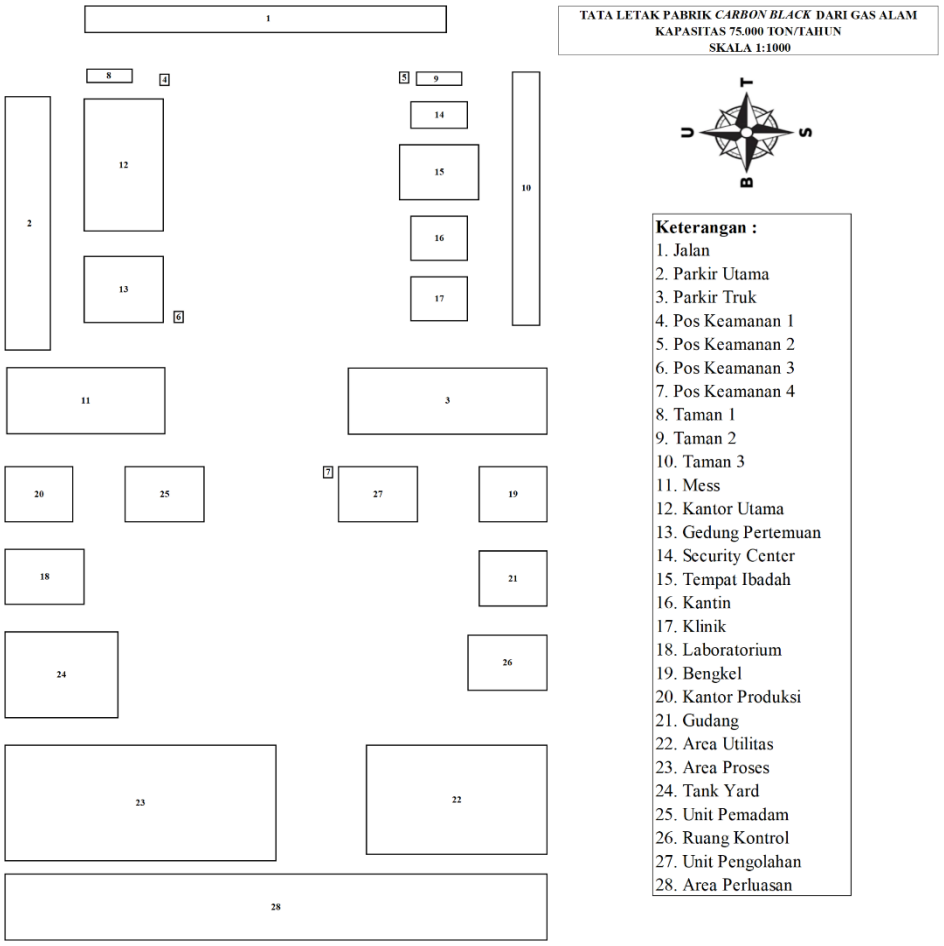
f. Bagian Fasilitas Umum

Bagian fasilitas umum ialah bagian penunjang fasilitas penunjang karyawan.Fasilitas umum yang terdapat meliputi tempat ibadah, kantin, fasilitas kesehatan, parkir, serta tempat istirahat.

Tabel 4.1 Rincian Luas Bangunan dan Tanah

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)
1	Jalan	160	12	1920
2	Parkir Utama	20	115	2300
3	Parkir Truk	88	30	2640
4	Pos Keamanan 1	4	5	20
5	Pos Keamanan 2	4	5	20
6	Pos Keamanan 3	4	5	20
7	Pos Keamanan 4	4	5	20
8	Taman 1	20	6	120
9	Taman 2	20	6	120
10	Taman 3	115	12	1380
11	Mess	70	30	2100
12	Kantor Utama	35	60	2100
13	Gedung Pertemuan	35	30	1050
14	Security Center	25	12	300
15	Tempat Ibadah	35	25	875
16	Kantin	25	20	500
17	Klinik	25	20	500
18	Laboratorium	35	25	875
19	Bengkel	25	30	750
20	Kantor Produksi	25	30	750
21	Gudang	25	30	750
22	Area Utilitas	80	49.53	3969.65
23	Area Proses	120	52.47	6296
24	Tank Yard	39	50	1950
25	Unit Pemadam Kebakaran	35	25	875
26	Ruang Kontrol	35	25	875
27	Unit Pengolahan Limbah	35	25	875

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)
28	Area Perluasan	240	30	7200
	Luas Total (m^2)		**41.150,49**	
	Luas Tanah (m^2)		**49.380,58**	



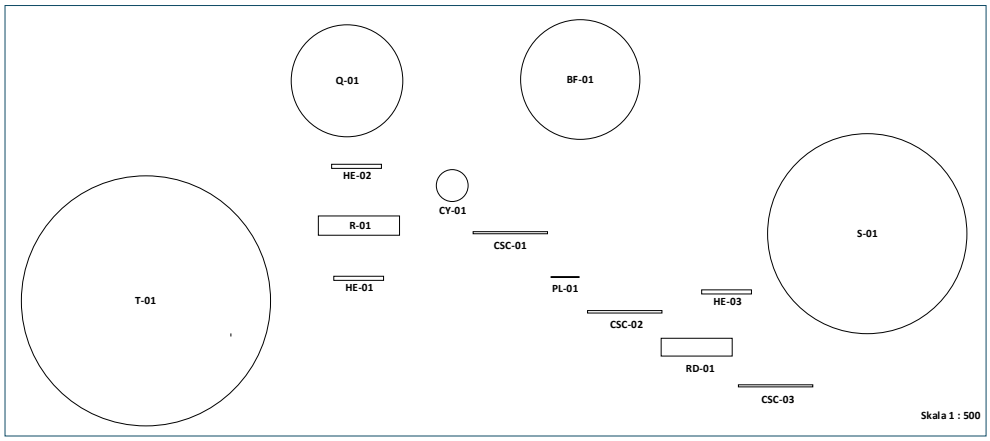
Gambar 4.2 *Layout* Pabrik

4.3 Tata Letak Alat Proses

Tata letak alat proses (*machine layout*) merupakan pengaturan dan penempatan peralatan proses di dalam pabrik secara optimal. Perancangan tata letak yang baik dapat memberikan keuntungan ekonomi dengan menekan biaya konstruksi serta meningkatkan efisiensi kegiatan operasional produksi. Selain

itu, tata letak alat proses juga berperan penting dalam menunjang aspek keamanan, keselamatan, dan kenyamanan kerja bagi karyawan. Oleh karena itu, terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penyusunan tata letak alat proses, antara lain:

1. Aliran bahan baku dan produk
2. Aliran udara
3. Pencahayaan
4. Lalu lintas manusia dan kendaraan
5. Jarak antar alat proses
6. Pertimbangan Ekonomi



Keterangan :	
Kode	**Alat**
R-01	Reaktor
Q-01	*Quencher*
CY-01	*Cyclone*
BF-01	*Bag Filter*
PL-01	*Pelletizer*
RD-01	*Rotary Dryer*
T-01	Tangki
S-01	Silo
CSC	*Cooling Screw Conveyor*
HE	*Heat Exchanger*

Gambar 4.3 *Layout* Alat Proses

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Pabrik karbon hitam yang akan didirikan direncanakan memiliki klasifikasi sebagai berikut:

1. Bentuk Perusahaan : Perseroan Terbatas (PT)
2. Produksi : Industri Karbon Hitam
3. Kapasitas : 75.000 Ton/Tahun
4. Lokasi Pabrik : Bontang, Kalimantan Timur

Bentuk organisasi yang dipilih untuk pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) yang berbadan hukum. Dalam bentuk usaha ini, modal perusahaan terbagi menjadi saham-saham yang dimiliki oleh para pemegang saham. Pendirian Perseroan Terbatas harus dilakukan melalui akta autentik sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Perusahaan dipimpin oleh seorang direktur utama yang dibantu oleh beberapa direktur pada masing-masing departemen. Bentuk organisasi PT dipilih karena memiliki sistem pengelolaan yang jelas, mampu mengatur dan mengelola aset perusahaan secara mandiri, serta memudahkan perusahaan dalam menghimpun modal untuk mendukung kegiatan operasional dan pengembangan usaha.

4.4.2 Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi merupakan suatu sistem yang menggambarkan susunan, hierarki, serta hubungan kerja di dalam perusahaan. Struktur ini disusun untuk menciptakan koordinasi dan kerja sama yang baik antar karyawan sehingga tujuan perusahaan dapat tercapai secara efektif dan efisien.

Berdasarkan pola hubungan kerja dan pembagian wewenangnya, struktur organisasi dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk, yaitu sebagai berikut:

1. Organisasi Garis (*Line Organization*)

   Organisasi garis merupakan bentuk organisasi yang sederhana dengan jumlah karyawan relatif sedikit. Sistem ini memiliki alur wewenang yang langsung dari pimpinan kepada bawahan, sehingga kepemimpinan cenderung bersifat terpusat.

2. Organisasi *Line and Staff*

   Organisasi ini merupakan pengembangan dari organisasi garis, di mana terdapat pembagian antara bagian *line* dan *staff*. Bagian *line* bertugas menjalankan kegiatan utama perusahaan untuk mencapai tujuan organisasi, sedangkan bagian *staff* bertugas memberikan saran, pertimbangan, serta dukungan sesuai dengan bidang keahliannya kepada bagian operasional.

3. Organisasi Fungsional

Organisasi fungsional dibentuk berdasarkan fungsi dan keahlian tertentu sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Setiap bagian memiliki tanggung jawab sesuai bidang kerjanya masing-masing.

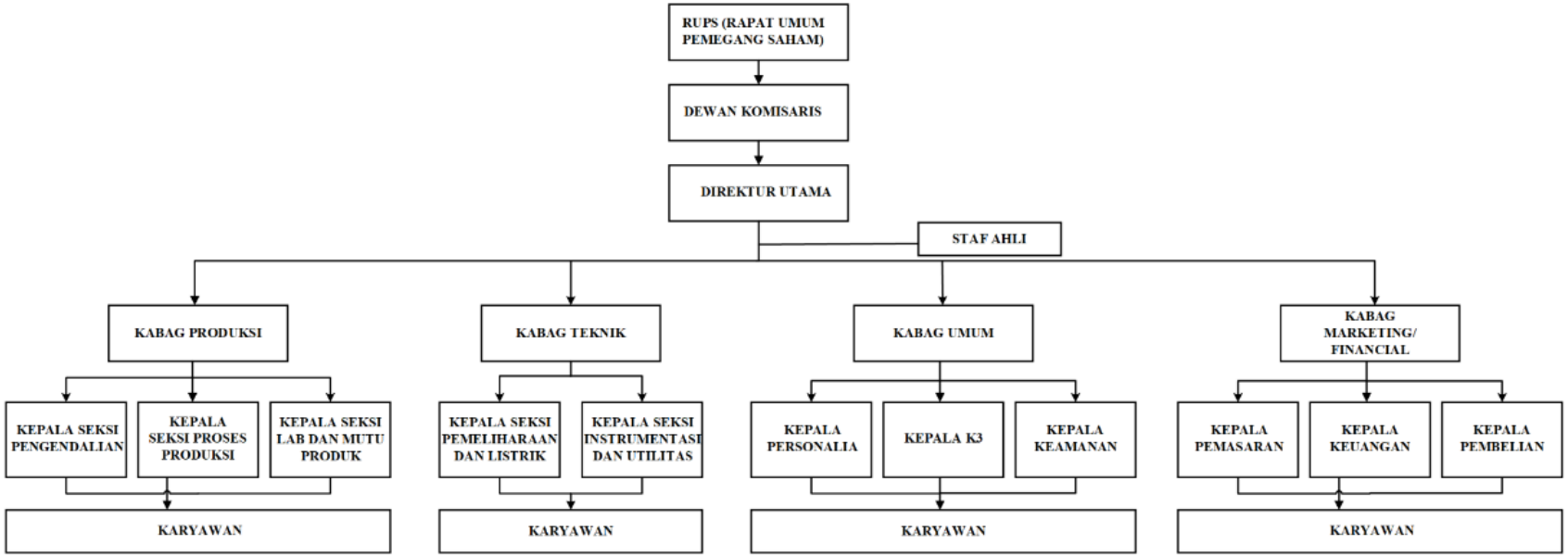
Pada pabrik karbon hitam ini dipilih struktur organisasi *Line and Staff* karena dinilai paling sesuai untuk mendukung kegiatan operasional perusahaan. Bentuk organisasi ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

1. Pembagian tugas, tanggung jawab, dan wewenang menjadi lebih jelas karena disesuaikan dengan garis kepemimpinan dan spesialisasi masing-masing bagian.
2. Pelaksanaan pekerjaan menjadi lebih efektif karena setiap karyawan bekerja sesuai dengan bidang keahliannya.
3. Pimpinan dapat lebih fokus pada fungsi koordinasi dan pengawasan karena tugas operasional telah dijalankan oleh bawahan sesuai tanggung jawabnya.
4. Koordinasi antar bagian menjadi lebih mudah karena adanya pembagian tugas yang jelas.
5. Kemampuan dan spesialisasi karyawan dapat berkembang secara optimal sesuai bidang pekerjaannya.

Selain itu, struktur organisasi juga memberikan beberapa manfaat bagi perusahaan, yaitu:

1. Membantu perusahaan dalam mencapai target dan tujuan secara lebih efektif.
2. Memberikan kejelasan mengenai tugas dan tanggung jawab setiap karyawan.
3. Memperjelas alur koordinasi, wewenang, dan tanggung jawab dalam perusahaan.
4. Mengurangi potensi terjadinya masalah internal di dalam organisasi.
5. Meningkatkan motivasi dan semangat kerja karyawan karena adanya jenjang karier yang jelas.

Dalam sistem organisasi *Line and Staff*, terdapat dua kelompok utama yang berperan penting dalam menjalankan perusahaan, yaitu bagian *line* dan bagian *staff*. Bagian *line* merupakan pihak yang melaksanakan kegiatan utama perusahaan untuk mencapai tujuan organisasi, sedangkan bagian *staff* berfungsi memberikan bantuan, saran, dan dukungan teknis sesuai dengan keahliannya



Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan

4.4.3 Tugas dan Wewenang

1. Pemegang Saham

   Pemegang saham merupakan pihak yang memiliki perusahaan melalui penyertaan modal untuk mendukung pendirian dan kegiatan operasional perusahaan. Dalam Perseroan Terbatas (PT), kekuasaan tertinggi berada pada Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).

   Melalui RUPS, para pemegang saham memiliki wewenang untuk:

   a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris.
   b. Mengangkat dan memberhentikan Direktur.
   c. Mengesahkan laporan hasil usaha serta laporan keuangan tahunan perusahaan, termasuk neraca dan perhitungan laba rugi.

2. Dewan Komisaris

   Dewan Komisaris merupakan pihak yang mewakili kepentingan pemegang saham dalam mengawasi jalannya perusahaan. Dewan Komisaris bertanggung jawab kepada pemegang saham serta berperan dalam memastikan perusahaan berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

   Tugas Dewan Komisaris meliputi:

   a. Menilai dan memberikan persetujuan terhadap kebijakan umum perusahaan yang ditetapkan oleh direksi, termasuk target keuntungan, alokasi sumber dana, dan strategi pemasaran.

b. Mengawasi pelaksanaan tugas dan kinerja direksi dalam menjalankan perusahaan.
c. Memberikan masukan dan membantu direksi dalam pengambilan keputusan penting yang berkaitan dengan perusahaan.

3. Direktur Utama (Direksi)

Direktur Utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan yang bertanggung jawab atas seluruh kegiatan dan perkembangan perusahaan. Dalam menjalankan tugasnya, Direktur Utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris atas setiap kebijakan dan keputusan yang diambil. Direktur Utama juga membawahi kepala bagian pada setiap divisi perusahaan.

Tugas Direktur Utama meliputi:

a. Menjalankan kebijakan perusahaan serta mempertanggungjawabkan hasil pelaksanaan tugas kepada pemegang saham secara berkala maupun pada akhir masa jabatan.
b. Menjaga stabilitas organisasi perusahaan serta menciptakan hubungan kerja yang baik antara pemegang saham, pimpinan, karyawan, dan konsumen.
c. Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan rapat pemegang saham.

d. Mengoordinasikan kerja sama antar kepala bagian di setiap divisi, seperti Kepala Bagian Produksi, Teknik, SDM, dan Pemasaran, agar kegiatan perusahaan berjalan dengan baik dan terarah.

4. *Staff* Ahli

Staff ahli merupakan tenaga profesional yang memiliki keahlian tertentu dan bertugas membantu Direktur Utama dalam menjalankan kegiatan perusahaan, baik di bidang teknis maupun administrasi. Dalam pelaksanaan tugasnya, staff ahli bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama sesuai dengan bidang keahliannya masing-masing.

Tugas dan wewenang staff ahli meliputi:

a. Memberikan masukan, pertimbangan, dan saran dalam perencanaan serta pengembangan perusahaan.
b. Melakukan evaluasi terhadap aspek teknis dan ekonomi perusahaan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif.
c. Memberikan saran dan pertimbangan dalam bidang produksi guna meningkatkan efisiensi dan kinerja perusahaan.

5. Kepala Bagian

Secara umum, Kepala Bagian bertugas mengoordinasikan, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan di masing-masing bagian sesuai dengan kebijakan yang telah ditetapkan oleh pimpinan perusahaan. Selain itu, Kepala Bagian juga dapat berperan sebagai staf Direktur bersama dengan staff ahli dalam membantu pengambilan

keputusan perusahaan. Dalam pelaksanaan tugasnya, Kepala Bagian bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama.

Salah satu bagian dalam struktur organisasi perusahaan adalah Kepala Bagian Produksi.

a. Kepala Bagian Produksi

Kepala Bagian Produksi bertanggung jawab terhadap kelancaran proses produksi serta pengendalian mutu produk yang dihasilkan. Selain itu, Kepala Bagian Produksi juga bertugas mengoordinasikan seluruh seksi yang berada di bawah tanggung jawabnya.

Kepala Bagian Produksi membawahi beberapa seksi, yaitu:

1) Seksi Proses

Bertugas mengawasi jalannya proses produksi agar berjalan dengan baik dan sesuai prosedur. Seksi ini juga melakukan penanganan awal terhadap peralatan produksi yang mengalami gangguan sebelum diperbaiki oleh bagian yang berwenang.

2) Seksi Pengendalian

Bertugas menangani aspek keselamatan kerja dan mengurangi potensi bahaya yang dapat terjadi selama kegiatan operasional pabrik berlangsung.

3) Seksi Laboratorium

Bertugas melakukan pengawasan dan analisis mutu bahan baku, bahan pembantu, serta produk yang dihasilkan. Selain itu, seksi ini juga mengawasi pengelolaan limbah pabrik dan menyusun laporan berkala yang disampaikan kepada Kepala Bagian Produksi.

b. Kepala Bagian Teknik

Kepala Bagian Teknik bertanggung jawab dalam mengoordinasikan dan mengawasi seluruh kegiatan teknis yang berada di bawah tanggung jawabnya. Selain itu, Kepala Bagian Teknik juga memastikan seluruh fasilitas dan peralatan pabrik dapat beroperasi dengan baik untuk mendukung kelancaran proses produksi.

Kepala Bagian Teknik membawahi beberapa seksi, yaitu:

1) Seksi Pemeliharaan

Bertugas melakukan pemeliharaan terhadap fasilitas gedung dan peralatan pabrik, serta menangani perbaikan apabila terjadi kerusakan pada peralatan produksi maupun fasilitas lainnya.

2) Seksi Utilitas

Bertugas mengelola dan mengatur penyediaan sarana utilitas pabrik, seperti kebutuhan air, uap, dan listrik, agar seluruh kebutuhan proses produksi dapat terpenuhi dengan baik.

c. Kepala Bagian Umum

Kepala Bagian Umum bertanggung jawab dalam mengoordinasikan kegiatan yang berkaitan dengan keselamatan kerja, personalia, serta keamanan lingkungan perusahaan agar kegiatan operasional pabrik dapat berjalan dengan tertib, aman, dan nyaman.

Kepala Bagian Umum membawahi beberapa seksi, yaitu:

1) Seksi Keselamatan Kerja

Bertugas mengatur, menyediakan, dan mengawasi seluruh kegiatan yang berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan kerja (K3), serta melakukan upaya pencegahan dan penanggulangan bahaya kebakaran di lingkungan pabrik.

2) Seksi Personalia

Bertugas mengelola sumber daya manusia perusahaan, menjaga kedisiplinan kerja, serta menciptakan suasana kerja yang aman dan harmonis antara karyawan dan lingkungan kerja. Selain itu, seksi ini juga menangani hal-hal yang berkaitan dengan kesejahteraan karyawan.

3) Seksi Keamanan

Bertugas mengawasi keluar masuknya karyawan maupun tamu di lingkungan pabrik, menjaga keamanan fasilitas dan

bangunan perusahaan, serta melindungi kerahasiaan informasi yang berkaitan dengan internal perusahaan.

d. Kepala Bagian Marketing

Kepala Bagian Marketing bertanggung jawab dalam mengelola kegiatan pemasaran, keuangan, serta pengadaan barang yang diperlukan perusahaan untuk mendukung kelancaran operasional dan penjualan produk.

Kepala Bagian Marketing membawahi beberapa seksi, yaitu:

1) Seksi Keuangan

Bertugas mengelola dan mengawasi penggunaan dana perusahaan, menjaga keamanan keuangan perusahaan, serta melakukan perhitungan gaji dan insentif karyawan.

2) Seksi Pemasaran

Bertugas menyusun strategi pemasaran dan penjualan produk, serta mengatur distribusi produk dari gudang kepada konsumen atau pihak terkait.

3) Seksi Pembelian

Bertugas melakukan pembelian bahan baku, peralatan, dan kebutuhan perusahaan lainnya. Selain itu, seksi ini juga memantau harga pasar bahan baku serta mengatur proses keluar masuknya barang dan peralatan dari gudang.

4.4.4 Sistem Kerja

Pabrik karbon hitam dengan kapasitas produksi 75.000 ton per tahun direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam satu tahun, dengan proses produksi berlangsung selama 24 jam setiap hari. Untuk mendukung kegiatan operasional tersebut, jam kerja karyawan dibagi menjadi dua golongan, yaitu sebagai berikut:

1. Karyawan *Non-Shift*

Karyawan *non-shift* merupakan karyawan yang tidak terlibat secara langsung dalam kegiatan proses produksi. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain Direktur Utama, Staff Ahli, Kepala Bagian, serta karyawan yang bekerja di bagian perkantoran.

Karyawan *non-shift* bekerja selama 5 hari dalam satu minggu dan libur pada hari Sabtu, Minggu, serta hari besar atau hari libur nasional. Adapun jam kerja yang berlaku adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Rincian Jam Kerja

No.	Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
1.	Senin - Kamis	08.00 - 17.00	12.00 - 13.00
2.	Jumat	07.30 - 16.00	11.30 - 13.00

2. Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* merupakan karyawan yang terlibat langsung dalam kegiatan proses produksi serta bertanggung jawab menjaga kelancaran operasional, keamanan, dan keselamatan pabrik. Karyawan yang

termasuk dalam kelompok ini antara lain operator produksi, bagian teknik, bagian utilitas dan gedung, serta bagian lain yang harus selalu siaga selama pabrik beroperasi.

Karena proses produksi berlangsung selama 24 jam, karyawan *shift* bekerja secara bergantian sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Adapun pembagian jam kerja karyawan shift adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Rincian Jam Kerja *Shift*

No.	*Shift*	Jam Kerja
1.	Pagi	07.00 - 15.00
2.	Sore	15.00 - 23.00
3.	Malam	23.00 - 07.00

Karyawan *shift* dibagi menjadi empat kelompok, yaitu kelompok A, B, C, dan D. Dalam satu hari, tiga kelompok bekerja secara bergantian sesuai jadwal shift, sedangkan satu kelompok lainnya mendapatkan jadwal libur. Pada hari libur nasional atau hari besar yang ditetapkan pemerintah, karyawan yang mendapat jadwal *shift* tetap menjalankan tugas seperti biasa agar operasional pabrik tetap berjalan dengan lancar. Adapun jadwal pembagian *shift* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Jadwal Jam Kerja

Grup	**Hari Ke-**														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Pagi	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D	D	A	A	A
Siang	B	B	C	C	C	D	D	D	A	A	A	B	B	B	C
Malam	C	D	D	D	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D
Off	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B
Group	**Hari ke-**														
	16	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**

Pagi	B	B	B	C	C	C	D	D	D	A	A	A	B	B	B
Siang	C	C	D	D	D	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D
Malam	D	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D	D	A	A
Off	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C	B	A	D	C

Kelancaran proses produksi dalam suatu pabrik sangat dipengaruhi oleh kedisiplinan karyawan, karena hal tersebut berhubungan langsung dengan keberlangsungan dan perkembangan perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan menerapkan sistem absensi bagi seluruh karyawan untuk memantau tingkat kehadiran dan kedisiplinan kerja.

Selain sebagai alat pengawasan, data kehadiran juga digunakan oleh pimpinan perusahaan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam penilaian kinerja dan pengembangan karier karyawan di perusahaan.

4.4.5 Penggolongan Jabatan, Jumlah Karyawan, dan Gaji

Jumlah karyawan perlu ditentukan secara tepat agar seluruh pekerjaan dapat dilaksanakan dengan baik, efektif, dan efisien. Adapun rincian jabatan, jumlah karyawan, dan besaran gaji sebagai berikut:

Tabel 4.5 Sistem Gaji

Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji
Direktur Utama	1	Rp65,000,000	Rp65,000,000
Staff Ahli	2	Rp35,000,000	Rp70,000,000
Kepala Bagian Produksi	1	Rp28,000,000	Rp28,000,000
Kepala Bagian Teknik	1	Rp28,000,000	Rp28,000,000
Kepala Bagian Umum	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
Kepala Bagian Marketing	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
Kepala Seksi Pengendalian	1	Rp18,000,000	Rp18,000,000
Kepala Seksi Proses Produksi	1	Rp18,000,000	Rp18,000,000
Kepala Seksi Laboratorium	1	Rp18,000,000	Rp18,000,000
Kepala Seksi Maintenance	1	Rp18,000,000	Rp18,000,000
Kepala Seksi Utilitas	1	Rp18,000,000	Rp18,000,000

Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji
Kepala Personalia	1	Rp15,000,000	Rp15,000,000
Kepala K3	1	Rp15,000,000	Rp15,000,000
Kepala Keamanan	1	Rp12,000,000	Rp12,000,000
Kepala Pemasaran	1	Rp15,000,000	Rp15,000,000
Kepala Keuangan	1	Rp15,000,000	Rp15,000,000
Kepala Pembelian	1	Rp15,000,000	Rp15,000,000
Karyawan Personalia	4	Rp7,500,000	Rp30,000,000
Karyawan Pemasaran	4	Rp7,500,000	Rp30,000,000
Karyawan Pembelian	4	Rp7,500,000	Rp30,000,000
Karyawan Proses Produksi	15	Rp8,500,000	Rp127,500,000
Karyawan Laboratorium	5	Rp8,000,000	Rp40,000,000
Karyawan Utilitas	8	Rp8,000,000	Rp64,000,000
Karyawan Maintenance	6	Rp8,500,000	Rp51,000,000
Karyawan Pengendalian	6	Rp8,000,000	Rp48,000,000
Karyawan Keuangan	3	Rp7,500,000	Rp22,500,000
Karyawan K3	3	Rp8,500,000	Rp25,500,000
Operator Proses Produksi	20	Rp6,500,000	Rp130,000,000
Operator Utilitas	20	Rp6,500,000	Rp130,000,000
Security	15	Rp5,000,000	Rp75,000,000
Sopir	4	Rp5,000,000	Rp20,000,000
Cleaning Service	10	Rp4,200,000	Rp42,000,000
Dokter	2	Rp15,000,000	Rp30,000,000
Perawat	3	Rp7,000,000	Rp21,000,000
Total	**150**	**Rp511,700,000**	**Rp1,334,500,000**

4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

Perusahaan memberikan berbagai hak dan fasilitas kepada karyawan untuk mendukung kenyamanan kerja dan meningkatkan kesejahteraan. Fasilitas tersebut meliputi:

1. Hak Cuti
    a. Cuti Tahunan

        Setiap karyawan berhak memperoleh cuti tahunan maksimal 14 hari dalam satu tahun. Hak cuti yang tidak digunakan tidak dapat diakumulasikan ke tahun berikutnya.

b. Cuti Massal

Perusahaan memberikan cuti massal selama 4 hari kerja setiap tahun yang bertepatan dengan Hari Raya.

c. Cuti Hamil

Karyawan wanita berhak memperoleh cuti melahirkan selama 3 bulan dengan gaji penuh, sesuai ketentuan perusahaan.

2. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan non-shift, hari libur nasional ditetapkan sebagai hari libur kerja. Sementara itu, karyawan shift tetap menjalankan tugas sesuai jadwal operasional pabrik, dan jam kerja pada hari tersebut akan dihitung sebagai lembur (*overtime*).

3. Kerja Lembur

Kerja lembur dilakukan hanya untuk pekerjaan yang bersifat mendesak dan harus segera diselesaikan, dengan persetujuan terlebih dahulu dari kepala bagian terkait.

4. Pakaian Kerja dan Alat Pelindung Diri

Perusahaan menyediakan dua pasang pakaian kerja setiap tahun bagi karyawan. Selain itu, alat pelindung diri seperti masker juga diberikan untuk mendukung kesehatan dan keselamatan kerja.

5. Jaminan Sosial Tenaga Kerja (Jamsostek)

Seluruh karyawan terdaftar dalam program Jamsostek yang mencakup jaminan kecelakaan kerja dan asuransi jiwa, sehingga karyawan memperoleh perlindungan selama bekerja.

6. Fasilitas Pendukung Karyawan

Untuk meningkatkan kenyamanan dan produktivitas kerja, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas pendukung, antara lain:

a. Sarana transportasi berupa bus karyawan.

b. Fasilitas poliklinik dengan tenaga medis profesional.

c. Tempat ibadah yang dilengkapi sarana pendukung.

d. Koperasi karyawan.

e. Kantin karyawan.

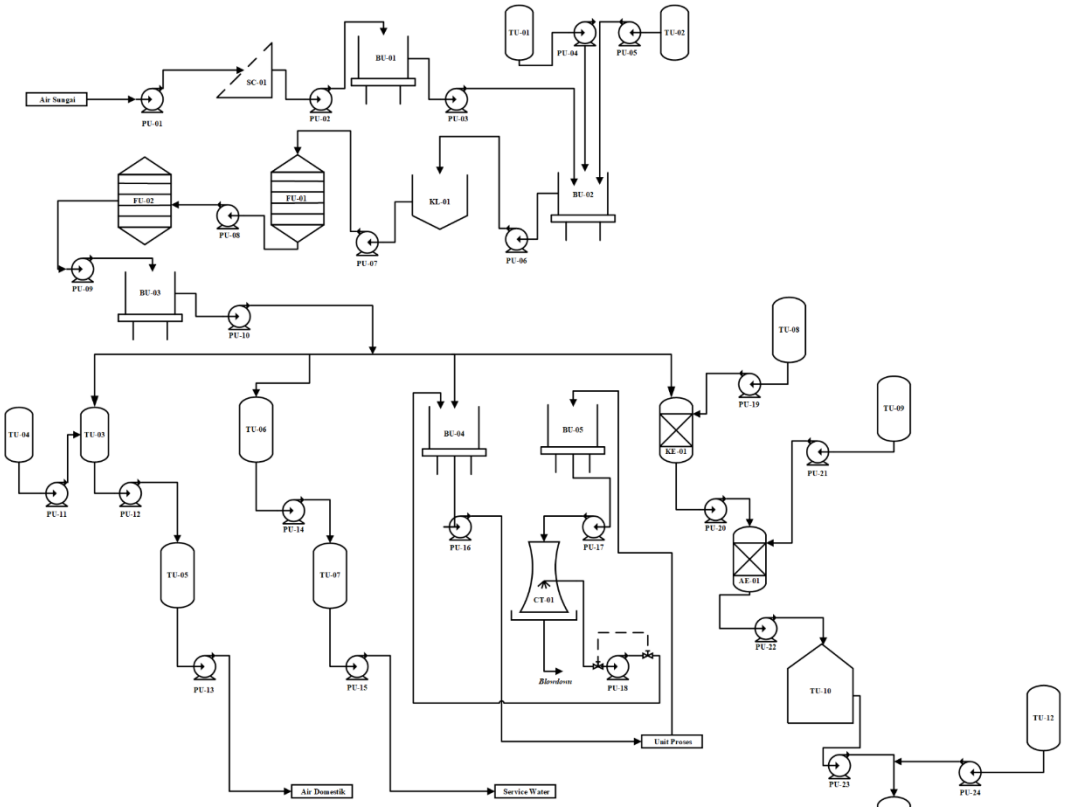
f. Penghargaan bagi karyawan yang telah bekerja selama 10 tahun berturut-turut.

BAB V

UTILITAS

Unit utilitas atau unit pendukung merupakan bagian penting dalam suatu pabrik yang berfungsi menyediakan berbagai kebutuhan operasional, seperti energi, air, udara tekan, dan layanan pendukung lainnya. Keberadaan unit ini sangat diperlukan untuk memastikan proses produksi dapat berjalan dengan lancar, stabil, efisien, serta sesuai dengan standar operasional yang telah ditetapkan.

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
2. Unit Pembangkit Steam
3. Unit Penyediaan Bahan Bakar
4. Unit Penyedia Udara Tekan (Instrument Air System)
5. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
6. Unit Pengolahan Pendingin
7. Unit Pengolahan Limbah



Keterangan			
SC-01	*Screening*	**TU-12**	Tangki N2H4
PU	Pompa Utilitas	**BU-01**	Bak Sedimentasi
TU-01	Tangki Larutan Alum	**BU-02**	Bak Koagulasi dan Flokulasi
TU-02	Tangki Larutan CaOH	**BU-03**	Bak Penampungan Sementara
TU-03	Tangki Klorinasi	**BU-04**	Bak Air Pendingin
TU-04	Tangki Kaporit	**BU-05**	*Hot Basin*
TU-05	Tangki Air Bersih	**KL-01**	*Clarifier*
TU-06	Tangki *Service Water*	**FU-01**	*Sand Filter*
TU-07	Tangki Air Bertekanan	**FU-02**	*Carbon Filter*
TU-08	Tangki Pelarutan H2SO4	**CT-01**	Cooling Tower
TU-09	Tangki Pelarutan NaOH	**KE-01**	Penukar *Cation Exchanger*
TU-10	Tangki Air Demin	**AE-01**	Penukar *Anion Exchanger*
TU-11	*Daerator*	**BL-01**	*Boiler*

Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Dalam operasional pabrik, ketersediaan air menjadi kebutuhan penting yang harus terpenuhi secara kontinu dan efisien. Sumber air untuk keperluan industri umumnya dapat berasal dari air sumur, sungai, danau, maupun air laut. Pada prarancangan pabrik karbon hitam dari Gas Alam ini, sumber air yang digunakan berasal dari Sungai Guntung yang berada di Bontang Utara, Kalimantan Timur.

Pemilihan Sungai Guntung sebagai sumber utama air proses didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan ekonomis, yaitu:

a. Ketersediaan air

   Sungai Guntung memiliki debit aliran yang relatif stabil sepanjang tahun sehingga mampu memenuhi kebutuhan air pabrik secara berkelanjutan.

b. Efisiensi pengolahan air

   Air sungai lebih mudah diolah dibandingkan air laut karena kandungan garamnya lebih rendah. Hal ini membuat proses pengolahan menjadi lebih sederhana dengan biaya operasional yang lebih ekonomis.

c. Lokasi dekat dengan pabrik

   Letak Sungai Guntung yang tidak jauh dari area pabrik memudahkan distribusi air serta membantu mengurangi biaya logistik dan pembangunan infrastruktur perpipaan.

Secara keseluruhan, air pada pabrik ini digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan operasional yang mendukung kelancaran kegiatan produksi maupun non-produksi, yaitu:

1. Air Domestik

   Air domestik merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari karyawan, seperti air minum, toilet, dan perumahan. Air yang digunakan harus memenuhi standar kualitas tertentu, baik dari segi fisika, kimia, maupun mikrobiologi. Secara fisika, air harus jernih, tidak berbau, tidak berasa, dan memiliki suhu di bawah suhu udara sekitar. Dari segi kimia, air tidak boleh mengandung zat berbahaya, baik organik maupun anorganik, serta harus bebas dari bakteri patogen yang dapat memengaruhi kualitas air.

   Berdasarkan standar WHO, kebutuhan air bersih per orang berkisar antara 100–200 liter per hari. Pada prarancangan pabrik ini digunakan acuan sebesar 100 liter/orang·hari sesuai materi perkuliahan Utilitas (Lestari, 2023). Dengan jumlah karyawan sebanyak 150 orang, Selain untuk kebutuhan karyawan, pabrik juga merencanakan pembangunan 30 rumah dinas dengan jumlah penghuni diperkirakan sebanyak 120 orang. Dengan demikian, total kebutuhan air domestik di pabrik ini adalah sebesar 27.000 kg/hari.

2. Air *Service*

Air *service* merupakan air yang digunakan untuk mendukung berbagai fasilitas umum dan kegiatan penunjang di area pabrik, seperti bengkel, poliklinik, laboratorium, pemadam kebakaran, kantin, musholla, dan penyiraman kebun. Kebutuhan air service diperkirakan sebesar 10.800 kg/hari.

3. Air Pendingin

Air pendingin digunakan pada peralatan proses yang memerlukan penurunan suhu selama operasi berlangsung. Air dipilih sebagai media pendingin karena memiliki beberapa keunggulan, seperti ketersediaannya yang melimpah, mudah diolah dan dikontrol, mampu menyerap panas dalam jumlah besar tanpa mengalami dekomposisi, serta memiliki kestabilan volume yang baik meskipun berada pada temperatur rendah.

Kebutuhan air pendingin pada pabrik ini ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	Kode	Jumlah (Kg/Jam)
Quencher	Q-01	399.327,516
Pelletizer	PL-01	9.375,94
	CSC-01	3,92
Screw Conveyor	SC-01	1,29
	CSC-02	2,18
Total		408.707,374

Untuk mengantisipasi beban puncak dan kondisi operasional yang tidak terduga, sistem pendingin dirancang dengan faktor *overdesign* sebesar 20%, sehingga total kebutuhan air pendingin menjadi 490.448,85 kg/jam.

Selama proses berlangsung, sebagian air pendingin akan hilang akibat proses *blowdown* pada *cooling tower*. Oleh karena itu, diperlukan penambahan air pengganti (*make-up water*) untuk menjaga jumlah air dalam sistem tetap stabil. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan *make-up water* yang diperlukan sebesar 9.449,31 kg/jam.

4. Air Pemanas (*Steam*)

Steam digunakan sebagai media pemanas pada berbagai unit proses di dalam pabrik. Air yang digunakan sebagai umpan *boiler* harus memenuhi standar kualitas tertentu agar tidak menimbulkan gangguan maupun kerusakan pada sistem. Air *boiler* yang baik tidak boleh menyebabkan pembentukan busa, kerak, maupun korosi pada pipa dan peralatan pemanas.

Apabila kualitas air umpan *boiler* tidak memenuhi persyaratan, maka dapat terjadi masalah seperti *scaling*, *fouling*, dan *foaming* yang dapat menurunkan kinerja alat bahkan menyebabkan kerusakan peralatan. Oleh karena itu, pengolahan air *boiler* perlu dilakukan dengan baik dan hati-hati agar kualitas steam yang dihasilkan tetap terjaga.

Kebutuhan *steam* untuk peralatan pada pabrik ini ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5.2 Kebutuhan Air *Steam*

Nama Alat	Kode	Jumlah (Kg/am)
Heater	HE-01	5.200,82
	HE-02	30.049,57
	HE-03	3.627,00
Total		**38.877,39**

Dalam perancangan sistem *steam*, digunakan faktor *overdesign* sebesar 20% untuk mengantisipasi kondisi beban puncak, sehingga total kebutuhan steam menjadi 46.652,87 kg/jam.

Selama operasi berlangsung, sekitar 80% air pembangkit *steam* dapat digunakan kembali melalui sistem *condensate return*. Namun, sebagian air tetap mengalami kehilangan akibat proses *blowdown* pada *boiler* sebesar 15% dan kehilangan melalui *steam trap* sebesar 5%. Oleh karena itu, diperlukan penambahan air pengganti (*make-up water*) sebesar 20% dari total kebutuhan *steam*. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan *make-up water* tersebut adalah sebesar 9.449,31 kg/jam.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

1. Penghisapan

   Air dari sungai dihisap menggunakan pompa (PU-01) dan dialirkan menuju *screening* (SC-01).

2. *Screening*

Screening merupakan tahap awal pengolahan air yang bertujuan memisahkan kotoran berukuran besar tanpa menggunakan bahan kimia. Unit saringan ini dipasang pada sisi hisap pompa untuk mencegah masuknya benda-benda yang dapat menyumbat atau merusak peralatan proses berikutnya. Kotoran kasar seperti daun, plastik, dan serpihan kayu akan tertahan pada saringan, sedangkan partikel yang lebih kecil akan tetap terbawa menuju tahap pengolahan selanjutnya.

3. Sedimentasi

Setelah melewati proses *screening* (SC-01), air sungai dialirkan ke bak sedimentasi (BU-01) untuk menjalani proses pengendapan awal. Pada tahap ini, partikel-partikel berat yang masih terbawa setelah penyaringan, seperti pasir halus, lumpur, dan endapan mineral, akan mengendap secara alami akibat gaya gravitasi.

Proses sedimentasi bertujuan mengurangi kandungan padatan tersuspensi dalam air sehingga beban pengolahan pada tahap berikutnya menjadi lebih ringan dan efisien. Setelah proses pengendapan selesai, air kemudian di pompa menuju unit koagulasi dan flokulasi untuk pengolahan lebih lanjut.

4. Flokulator

Setelah mengalami pengendapan awal di bak sedimentasi (BU-01), air dialirkan menuju flokulator (BU-02) untuk menjalani proses koagulasi dan flokulasi. Pada tahap ini, larutan $Ca(OH)_2$ dari tangki

CaOH (TU-02) dan larutan tawas dari tangki tawas (TU-01) juga dialirkan ke dalam unit flokulator.

Di dalam flokulator, $Ca(OH)_2$ berfungsi menaikkan pH air agar kondisi menjadi lebih basa sehingga proses koagulasi dapat berlangsung secara optimal. Sementara itu, tawas ($Al_2(SO_4)_3$) berperan sebagai koagulan yang membantu menetralkan muatan partikel koloid di dalam air. Proses pengadukan lambat (*slow mixing*) di dalam BU-02 memungkinkan partikel-partikel kecil dan koloid saling bergabung membentuk flok atau gumpalan yang lebih besar. Flok yang terbentuk kemudian akan dipisahkan pada tahap pengendapan berikutnya di *clarifier* (KL-01).

5. *Clarifier*

Setelah melewati proses koagulasi dan flokulasi di flokulator (BU-02), air yang telah mengandung flok-flok berukuran besar dialirkan ke unit *clarifier* (KL-01). Unit ini berfungsi sebagai tempat pengendapan lanjutan, di mana flok hasil proses sebelumnya akan mengendap secara gravitasi ke dasar tangki.

Clarifier dirancang agar aliran air bergerak secara perlahan sehingga partikel-partikel tersuspensi dapat mengendap dengan lebih sempurna dan tidak terbawa ke tahap pengolahan berikutnya.

6. *Sand Filter*

Air jernih dari bagian atas *clarifier* (KL-01) selanjutnya dialirkan ke unit *sand filter* (FU-01) untuk menjalani proses penyaringan lanjutan.

Unit ini berfungsi menyaring partikel-partikel kecil yang masih tersisa dan belum terendapkan pada tahap sebelumnya.

Media penyaring pada sand filter terdiri dari beberapa lapisan, yaitu *graded gravel* sebesar 20% sebagai lapisan penyangga dasar, *coarse sand* sebesar 70% sebagai media utama penyaringan, dan *fine sand* sebesar 10% untuk menyaring padatan tersuspensi halus, lumpur mikro, serta sisa flok yang masih terbawa aliran air.

Tahap filtrasi ini sangat penting untuk meningkatkan kejernihan dan kualitas air sebelum digunakan lebih lanjut. Setelah melewati *sand filter*, air kemudian dialirkan ke unit karbon filter untuk menghilangkan kontaminan organik serta bau yang masih terkandung dalam air.

7. Karbon Filter

Air hasil penyaringan dari sand filter kemudian dialirkan ke unit karbon filter (FU-02) untuk meningkatkan kualitas air lebih lanjut. Pada tahap ini digunakan media karbon aktif jenis *haycarb* yang memiliki kemampuan adsorpsi tinggi terhadap senyawa organik, bau, warna, serta sisa klorin bebas yang masih terkandung dalam air.

Karbon aktif bekerja dengan mekanisme adsorpsi, yaitu menyerap dan menahan zat-zat pengotor pada permukaan pori-pori karbon. Dengan penggunaan media *haycarb*, proses penyaringan menjadi lebih efektif sehingga menghasilkan air yang lebih jernih, tidak berbau, dan aman untuk digunakan.

8. Bak Penampungan Sementara

Air yang telah melewati seluruh tahap filtrasi dapat dikategorikan sebagai air bersih dan selanjutnya ditampung di bak penampungan sementara (BU-03). Dari bak ini, air kemudian didistribusikan untuk berbagai kebutuhan operasional pabrik, seperti air domestik dan *service water*, air proses, air pendingin, serta air umpan pembangkit steam.

9. Klorinasi

Unit klorinasi berfungsi sebagai tempat pencampuran air bersih dengan bahan desinfektan berupa natrium hipoklorit (NaOCl). Proses ini bertujuan membunuh mikroorganisme patogen, seperti bakteri, virus, dan protozoa, yang kemungkinan masih terdapat dalam air setelah tahap filtrasi.

Proses klorinasi dilakukan secara terkontrol agar kadar klorin tetap sesuai standar sehingga air aman digunakan untuk kebutuhan domestik tanpa menimbulkan dampak negatif. Tangki klorinasi juga dilengkapi pengaduk untuk memastikan pencampuran berlangsung merata. Selanjutnya, air hasil klorinasi dialirkan ke tangki air bersih/domestik (TU-05) sebelum didistribusikan untuk kebutuhan sehari-hari.

10. Cooling Tower

Sebagian air bersih hasil filtrasi digunakan sebagai air pendingin dalam sistem proses. Air tersebut dipompa menuju peralatan seperti *quencher* dan *cooling screw conveyor* untuk menyerap panas dari proses produksi. Setelah menyerap panas, suhu air akan meningkat dan kemudian dialirkan ke *hot basin* pada *cooling tower*.

Di dalam *cooling tower*, air didinginkan melalui kontak langsung dengan udara lingkungan menggunakan proses evaporatif. Setelah suhu air turun, air akan ditampung di *cold basin* dan dialirkan kembali ke peralatan proses untuk digunakan kembali sebagai media pendingin. Sistem ini bekerja secara sirkulasi tertutup sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien dan berkelanjutan.

11. Demineralisasi

Proses demineralisasi bertujuan menghilangkan ion-ion terlarut dalam air sehingga air dapat digunakan sebagai umpan *boiler*. Tahap ini terdiri dari dua unit utama, yaitu *cation exchanger* (KE-01) dan *anion exchanger* (AE-01). Pada unit *kation exchanger* (KE-01), air dari bak penampungan sementara (BU-03) dialirkan ke dalam kolom resin kation. Di dalam unit ini, ion-ion positif seperti Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, dan ion logam lainnya akan ditangkap oleh resin tipe *hydrogen-zeolite*. Resin tersebut bekerja dengan menukar ion-ion positif dalam air dengan ion H^{+}. Jika kemampuan resin mulai menurun atau jenuh, dilakukan regenerasi menggunakan larutan asam kuat H_2SO_4 yang berasal dari tangki H_2SO_4 (TU-08). Air hasil proses ini bersifat lebih asam dan telah bebas dari ion penyebab kesadahan sehingga dapat mencegah terbentuknya kerak (*scaling*) pada peralatan.

Selanjutnya, air dialirkan ke unit *anion exchanger* (AE-01). Pada tahap ini, resin anion akan menyerap ion-ion negatif seperti Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}, HCO_3^{-}, dan CO_3^{2-}, kemudian menukarnya dengan ion OH^{-}. Ion H^{+}

dari proses sebelumnya dan ion OH^- dari unit *anion exchanger* akan bereaksi membentuk H_2O, sehingga dihasilkan air demineralisasi dengan tingkat kemurnian tinggi. Apabila resin anion telah jenuh, regenerasi dilakukan menggunakan larutan basa kuat NaOH yang disuplai dari tangki NaOH (TU-09). Air hasil demineralisasi ini selanjutnya dapat digunakan sebagai air proses maupun sebagai umpan menuju tahap deaerasi sebelum masuk ke *boiler*.

12. Deaerator

Setelah melewati proses demineralisasi, air dialirkan ke unit deaerator (TU-11) untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O_2), yang dapat menyebabkan korosi pada sistem *boiler*.

Di dalam deaerator, air dipanaskan dan dikontakkan langsung dengan uap sehingga gas-gas terlarut dapat terlepas dari air. Untuk memastikan tidak ada sisa oksigen yang tertinggal, ditambahkan senyawa hidrazin (N_2H_4) dari tangki hidrazin (TU-12). Senyawa ini berfungsi sebagai *oxygen scavenger*, yaitu mengikat oksigen sisa menjadi senyawa yang tidak berbahaya bagi sistem. Air yang telah bebas dari gas terlarut kemudian dialirkan ke sistem *boiler feed water* dan siap digunakan dalam proses pembangkitan *steam* di *boiler*.

5.2 Unit Pembangkit Steam (*Steam Generation System*)

Unit ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan steam pada proses produksi amil alkohol dengan menggunakan satu unit ketel uap (*boiler*) jenis *Water Tube Boiler* dengan kapasitas 38.877,39 kg/jam.

Sebelum digunakan sebagai umpan *boiler,* air dari *Water Treatment Plant* terlebih dahulu dikondisikan kualitasnya dengan menurunkan kadar silika, oksigen (O_2), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) yang masih mungkin terkandung di dalamnya. Proses ini dilakukan dengan penambahan bahan kimia tertentu pada *boiler feed water tank*. Selain itu, pH air juga diatur pada kisaran 10,5–11,5 untuk mencegah terjadinya korosi pada sistem.

Sebelum masuk ke *boiler,* air terlebih dahulu melewati *economizer* untuk memanfaatkan panas dari gas buang hasil pembakaran *industrial diesel oil* (IDO). Pada tahap ini, temperatur air dinaikkan dan setelah itu, air masuk ke dalam *boiler* untuk dipanaskan lebih lanjut hingga berubah menjadi uap.

Uap panas kemudian didistribusikan ke sistem proses. Pada tahap ini, aliran uap dibagi menjadi dua jalur. Jalur pertama digunakan langsung pada unit proses yang membutuhkan uap bersuhu tinggi (200°C). Jalur kedua dialirkan ke turbin untuk menurunkan tekanan dan suhu, sekaligus menghasilkan energi mekanik. Setelah melalui turbin, uap keluar dengan suhu sekitar 100°C dan dimanfaatkan pada unit proses yang membutuhkan kondisi uap lebih rendah.

Setelah digunakan, uap mengalami kondensasi dan dikembalikan ke sistem untuk diolah serta dipanaskan kembali melalui sistem sirkulasi tertutup (*looping system*).

5.3 Unit Pengolahan Pendingin

Sistem pendingin pada pabrik ini menggunakan sistem sirkulasi yang terdiri dari *cooling tower*, *hot basin*, dan *cold basin*. Air dari *hot basin* dialirkan ke *cooling tower* (CT-01) untuk didinginkan kembali. Proses pendinginan berlangsung secara evaporatif melalui kontak langsung antara air dan udara lingkungan.

Kondisi udara di wilayah Bontang memiliki suhu rata-rata sekitar 27°C dengan kelembaban relatif 80%. Air pendingin yang masuk ke cooling tower bersuhu sekitar 45°C dan setelah proses pendinginan diturunkan menjadi 28°C.

Cooling tower yang digunakan merupakan tipe *induced draft* dengan 1 sel aktif dan luas penampang sebesar 40,12 m^2. Dengan tambahan ruang untuk distributor dan inlet udara, tinggi total *cooling tower* mencapai 8,30 m. Air yang telah didinginkan kemudian ditampung di *cold basin* dan dialirkan kembali ke peralatan proses. Baik *cold basin* maupun *hot basin* memiliki volume yang sama, yaitu 588,53 m^3, dengan dimensi panjang 10,56 m, lebar 10,56 m, dan tinggi 5,28 m.

Dalam proses evaporasi di *cooling tower*, terjadi kehilangan air sekitar 2,5% dari total aliran atau setara dengan 7.086,99 kg/jam. Selain itu, terdapat kehilangan tambahan akibat *blowdown* dan *drift loss* masing-masing sebesar

2.264,23 kg/jam dan 98,09 kg/jam. Dengan demikian, total kebutuhan *make-up water* untuk sistem pendingin mencapai 9.449,31 kg/jam.

5.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Kebutuhan listrik pada pabrik ini dipenuhi oleh pasokan dari PLN. Selain itu, tersedia juga generator sebagai sumber cadangan yang akan digunakan apabila terjadi gangguan pada suplai listrik utama. Dengan adanya generator ini, proses produksi dan seluruh peralatan pabrik tetap dapat beroperasi meskipun pasokan listrik dari PLN terhenti.

Rincian kebutuhan listrik pabrik ini adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No.	Kode Alat	Hp	kW
1	PL-01	12,29	9,17
2	RD-01	7,5	5,59
3	BL-01	0,75	0,56
4	BL-02	25	18,64
5	BL-03	75	55,93
6	BL-04	75	55,93
7	BL-05	0,25	0,19
8	K-01	125	93,21
9	K-02	5,00	3,73
10	P-01	2,00	1,49
11	P-02	25,00	18,64
12	P-03	0,75	0,56
13	CSC-01	2	1,49
14	SC-01	3	2,24
15	CSC-02	2	1,49
16	BE-01	2	1,49
	Total	**362,54**	**270,35**

2. Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Utilitas

No.	Jenis Alat	Hp	kW
1	Bak Koagulasi & Flokulasi	30	22,37
2	Tangki Larutan Asam	0,3	0,22
3	*Clarifier*	0,05	0,04
4	Tangki Klorinasi	0,3	0,22
8	Tangki Kaporit	3	2,24
9	Tangki Pelarutan H2SO4	0,3	0,22
10	Tangki Pelarutan NaOH	10	7,46
11	*Cooling Tower*	15	11,19
12	PU-01	60	44,74
13	PU-02	60	44,74
14	PU-03	60	44,74
15	PU-04	0,05	0,04
16	PU-05	0,05	0,04
17	PU-06	60	44,74
18	PU-07	60	44,74
19	PU-08	60	44,74
20	PU-09	60	44,74
21	PU-10	60	44,74
22	PU-11	0,05	0,04
23	PU-12	0,5	0,37
24	PU-13	5	3,73
25	PU-14	2	1,49
26	PU-15	2	1,49
27	PU-16	60	44,74
28	PU-17	60	44,74
29	PU-18	60	44,74
30	PU-19	0,05	0,04
31	PU-20	7,5	5,59
32	PU-21	0,05	0,04
33	PU-22	7,5	5,59
34	PU-23	7,5	5,59
35	PU-24	0,05	0,04
36	PU-25	7,5	5,59
37	Turbin	7	5,22
	Total	**765,75**	**565,80**

Sehingga total kebutuhan listrik alat proses dan utilitas adalah 836,15 kW kemudian di *overdesign* 10% menjadi 1.003,38 kW.

3. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

Kebutuhan daya listrik untuk alat kontrol diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan listrik yang digunakan untuk motor penggerak. Berdasarkan perhitungan tersebut, total kebutuhan listrik untuk sistem kontrol adalah sebesar 250,84 kW.

4. Kebutuhan Listrik Penerangan

Kebutuhan daya listrik untuk sistem penerangan diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik motor penggerak. Berdasarkan asumsi tersebut, total kebutuhan listrik untuk penerangan adalah sebesar 150,51 kW.

5. Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor

Kebutuhan daya listrik untuk peralatan kantor, seperti AC, komputer, dan perlengkapan penunjang lainnya, diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik motor penggerak. Berdasarkan asumsi tersebut, total kebutuhan listrik untuk peralatan kantor adalah sebesar 150,51 kW.

6. Kebutuhan Listrik Bengkel, Laboratorium, dan Lain-lain

Kebutuhan daya listrik untuk bengkel, laboratorium, dan fasilitas lainnya diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik motor penggerak. Berdasarkan estimasi tersebut, total kebutuhan listrik untuk bengkel dan laboratorium adalah sebesar 150,51 kW.

7. Kebutuhan Listrik Perumahan

Total kebutuhan listrik pabrik mencakup berbagai aspek, mulai dari unit pembangkit hingga fasilitas pendukung lainnya. Kebutuhan terbesar berasal dari unit *power plant* dan utilitas sebesar 1003,38 kW. Untuk sistem kontrol, kebutuhan daya diperkirakan sebesar 250,84 kW, sedangkan sistem penerangan membutuhkan 150,51 kW.

Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor, seperti AC dan komputer, juga diperkirakan sebesar 150,51 kW. Selain itu, bengkel dan laboratorium masing-masing menyumbang kebutuhan daya yang sama, yaitu 150,51 kW. Untuk area perumahan yang terdiri dari 30 unit rumah dengan kebutuhan sekitar 1 kW per rumah, total daya yang diperlukan adalah 30 kW. Dengan demikian, berdasarkan seluruh rincian tersebut, total kebutuhan listrik untuk seluruh unit pabrik mencapai 1.735,74 kW.

8. Generator

Kebutuhan bahan bakar untuk generator cadangan dihitung untuk memastikan operasional generator dapat berjalan dengan optimal saat diperlukan. Generator yang digunakan memiliki kapasitas 2604 kW dengan efisiensi kerja sebesar 80%. Bahan bakar yang digunakan adalah *Industrial Diesel Oil* (IDO).

Berdasarkan perhitungan, kebutuhan bahan bakar untuk mengoperasikan generator tersebut adalah sekitar 694,22 kg/jam. Nilai ini menjadi acuan dalam perencanaan pasokan bahan bakar, terutama ketika

generator digunakan sebagai sumber listrik cadangan saat terjadi gangguan pada pasokan listrik utama.

5.5 Unit Penyedia Udara Tekan (*Instrument Air System*)

Dalam operasional pabrik, udara tekan digunakan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan instrumen-instrumen kontrol yang bekerja secara pneumatik. Tekanan udara yang dibutuhkan untuk sistem instrumen adalah sebesar 5,5 bar. Proses penyediaan udara tekan dimulai dari udara lingkungan yang kemudian dikompresi menggunakan kompresor yang dilengkapi dengan filter udara hingga mencapai tekanan yang diinginkan, yaitu 5,5 bar. Setelah itu, udara dialirkan ke berbagai instrumen kontrol dan peralatan proses yang membutuhkan.

Total kebutuhan udara instrumen diperkirakan mencapai 24,30 m^3/jam. Agar udara yang digunakan tetap kering dan tidak mengganggu kinerja sistem pneumatik, udara hasil kompresi dilewatkan terlebih dahulu melalui bejana pengering yang berisi *silica gel* untuk menghilangkan kandungan uap air. Dengan demikian, udara yang dihasilkan lebih stabil dan aman digunakan untuk sistem kontrol.

5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada *boiler* dan generator di sistem pembangkit listrik. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah *Industrial Diesel Oil* (IDO) dengan konsumsi sebesar 80,98 m^3 per hari.

Dibandingkan dengan batu bara, penggunaan IDO dinilai lebih efisien karena memiliki nilai kalor (*heating value*) yang lebih tinggi, sehingga mampu menghasilkan energi yang sama dengan kebutuhan volume bahan bakar yang lebih kecil. Meskipun batu bara memiliki harga per satuan massa yang lebih murah, total biaya operasional dapat menjadi lebih tinggi karena konsumsi yang lebih besar serta kebutuhan tambahan seperti infrastruktur penanganan material padat, sistem pengendalian emisi, dan pengelolaan limbah.

5.7 Unit Pengolahan Limbah (UPL)

Pada pabrik karbon hitam dari gas alam, limbah cair dihasilkan dari proses utilitas dan pencucian peralatan yang mengandung padatan tersuspensi, sisa senyawa organik, serta kemungkinan perubahan pH. Oleh karena itu, limbah perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Limbah cair mula-mula ditampung di bak penampung limbah untuk menstabilkan aliran dan karakteristik limbah. Selanjutnya, limbah dialirkan ke bak pengendapan awal untuk mengurangi kandungan padatan tersuspensi melalui proses gravitasi. Tahap berikutnya adalah bak netralisasi, untuk menyesuaikan pH agar berada pada kondisi netral sehingga aman untuk proses biologis. Setelah itu, limbah masuk ke bak nutrien dan bakteri, di mana ditambahkan nutrien dan mikroorganisme untuk memulai proses penguraian senyawa organik.

Kemudian, limbah dialirkan ke bak aerasi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut sehingga proses biologis berlangsung lebih efektif. Setelah itu,

masuk ke bak sedimentasi, di mana lumpur dan biomassa akan mengendap secara gravitasi dan dipisahkan dari air. Air hasil pengolahan kemudian dialirkan ke badan air (sungai), setelah dipastikan memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku. Dengan sistem bertahap ini, limbah dapat diolah secara efektif sebelum dilepaskan ke lingkungan.

5.8 Spesifikasi Alat Utilitas

5.8.1 Alat Unit Pengolahan Air Bersih

Tabel 5.5 Spesifikasi *Screening*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyaring Kotoran yang berukuran besar seperti daun, ranting dan sampah lainnya
Bahan	alumunium
Jumlah air (kg/jam)	538.935,70
Kecepatan air (m^2/s)	0,15
Jumlah Screen	25

Tabel 5.6 Spesifikasi Bak Pengolahan Air

Kode	**BU-01**	**BU-02**	**BU-03**
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur	Menggumpalkan kotoran yang tidak mengendap di bak sedimentasi	Penampungan sementara
Jenis	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi
Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang	Beton bertulang
Kapasitas (m^3/jam)	538,94	538,94	538,94
Panjang (m)	24,76	9,30	10,89
Lebar (m)	24,76	9,30	10,89
Tinggi (m)	12,38	-	5,45

Tabel 5.7 Spesifikasi Tangki Pengolahan Air

Kode	**TU-01**	**TU-02**
Fungsi	Menyiapkan dan menyimpan larutan alum 5% untuk 1 minggu operasi	Menyiapkan dan menyimpan larutan CaOH 5% untuk 1 minggu operasi
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (kg)	2,26	159,52
Tinggi (m)	0,22	5,38
Diameter (m)	0,30	2,69
Volume (m^3)	0,0024	30,55

Tabel 5.8 Spesifikasi *Sand Filter*

Parameter	**Nilai**
Fungsi	Menyaring kotoran yang masih terkandung dalam air atau yang lolos dari *clarifier*
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 Grade C*
Tinggi (m)	4,49
Tinggi Lapisan Pasir (m)	0,6
Diameter (m)	2,99
Volume (m^3)	31,75

Tabel 5.9 Spesifikasi Karbon Filter

Parameter	**Nilai**
Fungsi	Menyaring pengotor berupa senyawa organik terlarut, klorin dan oksida lainnya yang tersisa pada air hasil keluaran *sand filter*
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 Grade C*
Tinggi (m)	6,16
Massa Karbon Aktif (kg)	18.233,99
Diameter (m)	3,4
Volume (m^3)	44,91

Tabel 5.10 Spesifikasi *Clarifier*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran bersifat koloid yang terbawa dari bak pengendap awal
Jenis	Tangki silinder
Diameter (m)	5,75
Tinggi (m)	10,29
Tinggi Kerucut (m)	4,03
Jenis Impeller	*Scrapper*
Volume (m^3)	1010,95
Jumlah Impeller	3
Power Motor (hP)	0,05

5.8.2 Alat Unit Pengolahan Air Service dan Air Domestik

Tabel 5.11 Spesifikasi Tangki Air *Service* & Domestik

Kode	TU-04	TU-05	TU-06	TU-07
Fungsi	Menampung kebutuhan kaporit selama 1 minggu	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga	Menampung air untuk keperluan layanan umum	Menampung air bertekanan
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Volume (m^3)	1,13	27	12,96	10.80
Diameter (m)	1,22	3,05	3,04	3,04
Tinggi (m)	2,99	9,43	4,71	4,71

Tabel 5.12 Spesifikasi Tangki Klorinasi

Parameter	Nilai
Fungsi	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 grade C*
Tinggi (m)	2,46

Parameter	Nilai
Diameter (m)	1,02
Volume (m^3)	1,35
Jenis Impeller	*Turbine with 6 flat blade*
Jumlah Impeller	1
Power Motor (hP)	0,3

5.8.3 Alat Unit Pengolahan Air Pendingin

Tabel 5.13 Spesifikasi Bak Pengolahan Air Pendingin

Kode	BU-04	BU-05
Fungsi	Menampung air untuk keperluan proses pendingin dan hasil dari *cooling tower*	Menampung kebutuhan air pendingin
Jenis	Bak persegi	Bak persegi
Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang
Kapasitas (m^3/jam)	490,44	490,44
Panjang (m)	10,56	10,56
Lebar (m)	10,56	10,56
Tinggi (m)	5,28	5,28

Tabel 5.14 Spesifikasi *Cooling Tower*

Parameter	Nilai
Fungsi	Mendinginkan air
Jenis	*Mechanical draft cooling tower*
Suhu Input (°C)	45
Suhu Output (°C)	28
Luas Area Total (m2)	40,12
Diameter (m)	3.57
Tinggi Bahan Isian (m)	1.91
Tinggi Total (m)	8.30
Volume (m^3)	490.44
Power Motor (hP)	12,96

5.8.4 Alat Unit Penyedia Steam

Tabel 5.15 Spesifikasi Tangki Pengolahan *Steam*

Kode	TU-08	TU-09	TU-10	TU-12
Fungsi	Menyimpan H_2SO_4 untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan NaOH untuk regenerasi penukar kation	Menampung air bebas mineral sebagian air proses dan air umpan *boiler*	Menyimpan larutan N2H4
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Volume (m^3)	0,52	4,71	25,80	28,61
Diameter (m)	1,37	1,52	3,04	5,18
Tinggi (m)	3,29	3,57	4,71	12,20

Tabel 5.16 Spesifikasi *Cation Exchanger*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ionion positif (Na+, Ca2+, Ba) dalam air
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
Tinggi (m)	1,63
Diameter (m)	0,66

Tabel 5.17 Spesifikasi *Anion Exchanger*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menghilangkan ion-ion negatif yang masih terbawa dari bak air bersih
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
Tinggi (m)	1,64
Diameter (m)	0,66

Tabel 5.18 Spesifikasi Deaerator

Parameter	Nilai
Fungsi	Menghilangkan gas CO_2 dan O_2 yang terikat dalam feed water penyebab kerak
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
Tinggi (m)	3,57
Diameter (m)	1,52
Volume (m^3)	4,72

Tabel 5.19 Spesifikasi *Boiler*

Parameter	Nilai
Fungsi	Membuat *saturated steam*
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
Kapasitas (kJ/jam)	82.019,62
Suhu (°C)	200
Luas Perpindahan Panas (m^2)	149,26
Kebutuhan Bahan Bakar (m^3/jam)	2,60

5.8.5 Alat Unit Udara Tekan

Tabel 5.20 Spesifikasi Kompresor

Parameter	Nilai
Fungsi	Mengompres udara menjadi udara bertekan
Flow Udara (m^3/jam)	24,30
Suhu Udara (C)	30
Tekanan Input (atm)	1
Tekanan Output (atm)	5
Power Standar (hP)	3

Tabel 5.21 Spesifikasi Tangki *Silica Gel*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menampung udara kering
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 grade C*

Parameter	Nilai
Tinggi (m)	0,47
Diameter (m)	0,23
Volume (m^3/jam)	0,015

5.8.6 Alat Unit Penyedia Bahan Bakar

Tabel 5.22 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyimpan bahan bakar *Industrial Diesel Oil* untuk *boiler* dan generator selama 3 hari
Jenis	Tangki silinder
Bahan	*Carbon steel SA-283 grade C*
Tinggi (m)	7,19
Diameter (m)	7,19
Volume (m^3/jam)	291,53

5.8.7 Generator

Tabel 5.23 Spesifikasi Generator

Parameter	Nilai
Fungsi	Sebagai sumber listrik alternatif yang akan beroperasi ketika pasokan listrik utama
Efisiensi	80%
Kapasitas (kW)	2604
Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)	694,22

5.8.8 Pompa Utilitas

Tabel 5.24 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Fungsi	Mengalirkan air dari sungai menuju *Screening* (SC-01)	Mengalirkan air sungai dari *Screening* (SC-01) ke	Mengalirkan air dari Bak Sedimentasi (BU-01) menuju Bak	Mengalirkan air dari Tangki Alum (TU-01) menuju ke

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
		Sedimentasi (BU-01)	Koagulasi dan Flokulasi (BU-02)	Bak Koagulasi dan Flokulasi (BU-02)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	632,26	632,26	632,26	632,26
IPS (in)	16	16	16	16
No. Sch	30	30	30	30
OD (in)	16	16	16	16
ID (in)	15,25	15,25	15,25	15,25
Efisiensi Pompa	70%	70%	70%	70%
Tenaga Pompa (hP)	42,86	42,86	42,86	42,86
Tenaga Motor (hP)	60	60	60	60

Tabel 5.25 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Kode	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
Fungsi	Mengalirkan air dari Tangki CaOH (TU-02) menuju ke Bak Koagulasi dan Flokulasi (BU-02)	Mengalirkan air dari Bak Koagulasi dan Flokulasi (BU-02) menuju ke *Clarifier* (KL-01)	Mengalirkan air dari *Clarifier* (KL-01) menuju *Sand Filter* (FU-01)	Mengalirkan air dari *Sand Filter* (FU-01) menuju Karbon Filter (FU-02)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	0,19	632,26	632,26	632,26
IPS (in)	0,5	16	16	16

Kode	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
No. Sch	40	30	30	30
OD (in)	0,84	16	16	16
ID (in)	0,62	15,25	15,25	15,25
Efisiensi Pompa	18%	70%	70%	70%
Tenaga Pompa (hP)	0,04	42,86	42,86	42,86
Tenaga Motor (hP)	0,05	60	60	60

Tabel 5.26 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Kode	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12
Fungsi	Mengalirkan air dari Karbon Filter (FU-02) ke Bak Penampungan Sementara (BU-03)	Mengalirkan air dari Bak Penampungan Sementara (BU-03) menuju ke area kebutuhan air	Mengalirkan kaporit dari Tangki Kaporit (TU-04) menuju Tangki Klorinasi (TU-03)	Mengalirkan air dari Tangki Klorinasi (TU-03) menuju Tangki Air Bersih (TU-05)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	0,19	632,26	0,0011	1,32
IPS (in)	0,5	16	0,13	1
No. Sch	40	30	40	40
OD (in)	0,84	16	0,40	1,32
ID (in)	0,62	15,25	0,27	1,04
Efisiensi Pompa	18%	70%	19%	20%
Tenaga Pompa (hP)	0,04	42,86	0,003	0,32
Tenaga Motor (hP)	0,05	60	0,05	0,5

Tabel 5.27 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Kode	**PU-13**	**PU-14**	**PU-15**	**PU-16**
Fungsi	Mengalirkan dari Tangki Air Bersih (TU-05) menuju Area Domestik	Mengalirkan dari Tangki Air *Service* (TU-06) ke Tangki Air Bertekanan (TU-07)	Mengalirkan dari Tangki Air Bertekanan (TU-07) menuju ke Area Kebutuhan *Service*	Mengalirkan dari Bak Air Dingin (BU-04) menuju ke Area Proses
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	31,69	12,67	12,67	632,26
IPS (in)	4	3	3	16
No. Sch	40	40	40	30
OD (in)	4,5	3,5	3,5	16
ID (in)	4,02	3,06	3,06	15,25
Efisiensi Pompa	42%	38%	38%	70%
Tenaga Pompa (hP)	3,51	1,52	1,52	42,86
Tenaga Motor (hP)	5	2	2	60

Tabel 5.28 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Kode	**PU-17**	**PU-18**	**PU-19**	**PU-20**
Fungsi	Mengalirkan dari Bak Air Panas (BU-05) menuju ke *Cooling Tower* (CT)	Mengalirkan dari *Coolling Tower* (CT-01) menuju *recycle* dari Bak Air Dingin (BU-04)	Mengalirkan H_2SO_4 dari Tangki Penampung H_2SO_4 (TU-08) menuju ke *Cation Exchanger* (KE-01)	Mengalirkan H_2SO_4 dari *Cation Exchanger* (KE-01) menuju ke *Anion Exchanger* (AE-01)

Kode	PU-17	PU-18	PU-19	PU-20
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	632,26	632,26	0,003	54,76
IPS (in)	16	16	0,13	6
No. Sch	30	30	40	40
OD (in)	16	16	0,40	6,62
ID (in)	15,25	15,25	0,27	6,06
Efisiensi Pompa	70%	70%	20%	50%
Tenaga Pompa (hP)	42,86	42,86	0,0007	5,09
Tenaga Motor (hP)	60	60	0,05	7,5

Tabel 5.29 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Kode	PU-21	PU-22	PU-23	PU-24
Fungsi	Mengalirkan NaOH dari Tangki Penampung NaOH (TU-09) menuju ke *Anion Exchanger* (AE-01)	Mengalirkan air dari *Anion Exchanger* (AE-01) ke Tangki Penampung Demineralisasi (TU-10)	Mengalirkan air dari Tangki Demineralisasi (TU-10) menuju Tangki Deaerator (TU-11)	Mengalirkan Larutan *Hydrazine* dari Tangki N_2H_4 (TU-12) menuju Tangki Deaerator (TU-11)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	0,0022	54,76	54,76	0,0016
IPS (in)	0,13	6	6	0,13
No. Sch	40	40	40	40
OD (in)	0,40	6,62	6,62	0,40
ID (in)	0,26	6,06	6,06	0,26

Kode	PU-21	PU-22	PU-23	PU-24
Efisiensi Pompa	20%	50%	50%	20%
Tenaga Pompa (hP)	0,0005	5,09	5,09	0,0004
Tenaga Motor (hP)	0,05	7,5	7,5	0,05

Tabel 5.30 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Kode	PU-25
Fungsi	Mengalirkan air dari Tangki Deaerator (TU-11) menuju ke *Boiler* (BL-01)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon steel SA-283 grade C*
Kapasitas (m^{33}/jam)	45,63
IPS (in)	6
No. Sch	40
OD (in)	6,62
ID (in)	6,06
Efisiensi Pompa	50%
Tenaga Pompa (hP)	4,20
Tenaga Motor (hP)	2,5

BAB IV

EVALUASI EKONOMI

Analisis ekonomi merupakan elemen krusial dalam pra-rancangan pabrik untuk menguji kelayakan investasi dan potensi keuntungan secara finansial. Evaluasi ini mencakup perhitungan kebutuhan modal awal, estimasi laba bersih, serta durasi pengembalian investasi guna memastikan proyek tersebut benar-benar menguntungkan. Selain itu, penentuan titik impas (*Break Even Point*) sangat penting untuk mengetahui ambang batas pendapatan yang setara dengan biaya produksi, sehingga dapat disimpulkan apakah pabrik tersebut layak untuk didirikan atau tidak. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam melakukan evaluasi ekonomi ialah:

1. Modal (*Capital Investment*)
    a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)
    b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)
2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)
    a. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
    b. Biaya Produksi Tak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
    c. Biaya Produksi Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
3. Pengeluaran Umum (*General Expenses*)
4. Analisis Kelayakan Ekonomi

a. *Return on Investment* (ROI)

b. *Pay Out Time* (POT)

c. *Break Even Point* (BEP)

d. *Shut Down Point* (SDP)

e. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR)

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan proses selalu berubah setiap tahunnya mengikuti kondisi ekonomi, sehingga sulit untuk menentukan harga pastinya secara langsung. Untuk memperkirakan harga peralatan proses tersebut dapat menggunakan indeks harga peralatan teknik kimia atau yang sering dikenal dengan *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI). Analisis harga peralatan dilakukan menggunakan data indeks tahun 2024 guna menghitung estimasi biaya pembelian alat saat pabrik mulai dibangun pada tahun 2030, dengan rincian data sebagai berikut.

Tabel 6.1 Indeks Harga Alat Pada Tahun 1950 - 2007

No	Tahun	Indeks	No	Tahun	Indeks
1	1950	73,9	**30**	1979	238,7
2	1951	77	**31**	1980	261,2
3	1952	82,3	**32**	1981	297
4	1953	84,7	**33**	1982	314
5	1954	86,5	**34**	1983	316,9
6	1955	88,3	**35**	1984	322,7
7	1956	93,9	**36**	1985	325,3
8	1957	96,5	**37**	1986	318,4
9	1958	99,7	**38**	1987	323,8
10	1959	101,8	**39**	1988	342,5
11	1960	102	**40**	1989	355,4
12	1961	101,5	**41**	1990	357,6

No	Tahun	Indeks	No	Tahun	Indeks
13	1962	102	**42**	1991	361,3
14	1963	102,4	**43**	1992	358,2
15	1964	103,3	**44**	1993	359,2
16	1965	104,2	**45**	1994	368,1
17	1966	107,2	**46**	1995	381,1
18	1967	109,7	**47**	1996	381,7
19	1968	113,6	**48**	1997	386,5
20	1969	119	**49**	1998	389,5
21	1970	125,7	**50**	1999	390,6
22	1971	132,3	**51**	2000	394,1
23	1972	132,3	**52**	2001	394,3
24	1973	144,1	**53**	2002	395,6
25	1974	164,4	**54**	2003	401,7
26	1975	182,4	**55**	2004	444,2
27	1976	192,1	**56**	2005	468,2
28	1977	204,1	**57**	2006	499,6
29	1978	218,8	**58**	2007	525,4

Estimasi harga peralatan pada tahun pendirian pabrik dapat dihitung menggunakan dua metode pendekatan utama. Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Aries dan Newton (1955), harga alat pada tahun yang direncanakan ditentukan dengan mengalikan harga referensi dari tahun tertentu dengan rasio indeks harganya. Secara matematis, hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Ex = Ey\frac{N_x}{N_y}$$

Dimana,

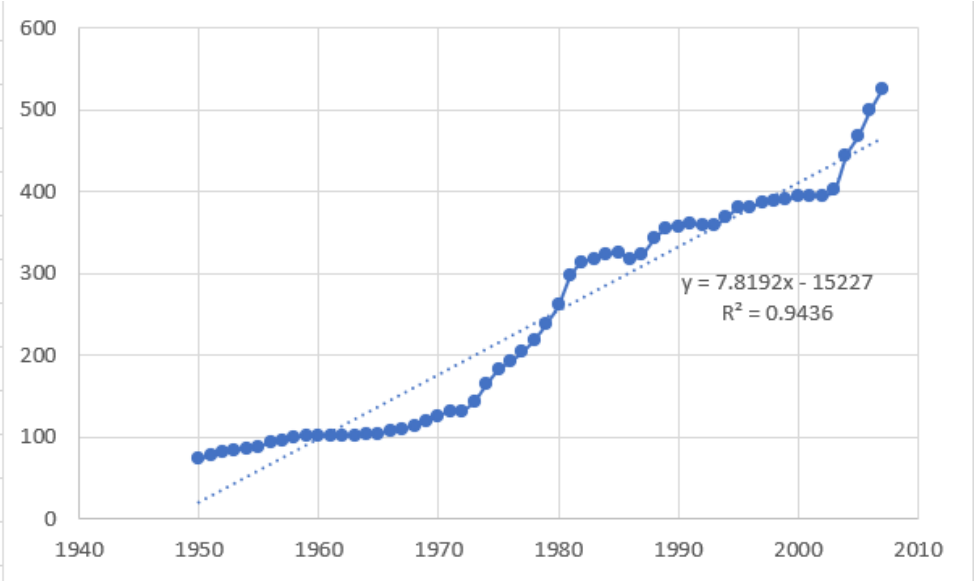
Ex = Harga pembelian pada tahun 2030

Ey = Harga pembelian pada tahun referensi 2014

Nx = Indeks harga pada tahun 2030

Ny = Index harga pada tahun referensi 2014

Grafik Kenaikan Indeks Tiap Tahun



Gambar 6.1 Grafik Regresi Linear Kenaikan Index

Dengan asumsi kenaikan indeks linear, maka dapat diturunkan persamaan *least square* sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$y = 7{,}8192x - 15227$$

Dimana,

y = Indeks harga

x = Tahun pembelian

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat dicari nilai CEPI pada tahun referensi dan perancangan, sehingga nilai CEPI pada tahun referensi 2014 adalah 567,5 dan nilai CEPI pada tahun perancangan 2030 sebesar 719,8.

Berdasarkan nilai CEPI tersebut, dapat ditentukan harga alat proses dan alat utilitas sebagai berikut:

Tabel 6.2 Harga Alat Proses

Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
T-01	1	567,5	719,8	$328.500	$416.687
R-01	1	567,5	719,8	$338.000	$428.737
Q-01	1	567,5	719,8	$203.600	$258.257
CY-01	1	567,5	719,8	$188.300	$238.850
BF-01	1	567,5	719,8	$22.500	$28.540
PL-01	1	567,5	719,8	$162.900	$206.631
RD-01	1	567,5	719,8	$403.900	$512.328
HE-01	1	567,5	719,8	$28.400	$36.024
HE-02	1	567,5	719,8	$71.700	$90.948
HE-03	1	567,5	719,8	$22.100	$28.033
FU-01	1	567,5	719,8	$17.500	$22.198
FU-02	1	567,5	719,8	$11.000	$13.953
BL-01	1	567,5	719,8	$224.900	$285.275
BL-02	1	567,5	719,8	$403.200	$511.440
BL03	1	567,5	719,8	$263.900	$334.745
BL-04	1	567,5	719,8	$259.900	$329.671
BL-05	1	567,5	719,8	$51.200	$64.945
K-01	1	567,5	719,8	$77.300	$98.051
K-02	1	567,5	719,8	$54.300	$68.877
P-01	1	567,5	719,8	$8.300	$10.528
P-02	1	567,5	719,8	$12.200	$15.475
P-03	1	567,5	719,8	$4.300	$5.454
CSC-01	1	567,5	719,8	$6.300	$7.991
SC-01	1	567,5	719,8	$6.300	$7.991
CSC-02	1	567,5	719,8	$7.500	$9.513
BE-01	1	567,5	719,8	$10.800	$13.699
S-01	1	567,5	719,8	$367.700	$466.410
TOTAL				**$3.556.500**	**$4.511.255**
				Rp63.056.745.000	**Rp79.984.554.241**

Tabel 6.3 Harga Alat Utilitas

Nama Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Bak Sedimentasi	1	567,5	719,8	$272.400	$345.527
Floakulator	1	567,5	719,8	$114.100	$144.731
Clarifier	1	567,5	719,8	$151.100	$191.663

Nama Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Sand Filter	1	567,5	719,8	$42.500	$53.909
Bak Sementara	1	567,5	719,8	$62.600	$79.405
Tangki Air *Service*	1	567,5	719,8	$10.700	$13.572
Tangki Klorinasi	1	567,5	719,8	$12.400	$15.729
Tangki Air Bersih	1	567,5	719,8	$19.200	$24.354
Tangki Air Bertekanan	1	567,5	719,8	$26.000	$32.980
Bak Air Pendingin	1	567,5	719,8	$63.200	$80.166
Cooling Tower	1	567,5	719,8	$39.200	$49.723
Screening	1	567,5	719,8	$11.000	$11.779
Cation Exchanger	1	567,5	719,8	$39.700	$50.358
Anion Exchanger	1	567,5	719,8	$39.700	$50.358
Tangki Kaporit	1	567,5	719,8	$11.600	$14.714
Daerator	1	567,5	719,8	$46.500	$58.983
Boiler	1	567,5	719,8	$652.800	$828.047
Tangki Demin Water	1	567,5	719,8	$16.700	$21.183
Tangki H_2SO_4	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
Tangki NaOH	1	567,5	719,8	$19.600	$24.862
Tangki Alum	1	567,5	719,8	$15.300	$19.407
Tangki N_2H_4	1	567,5	719,8	$36.800	$46.679
Kompresor	1	567,5	719,8	$5.400	$6.850
Tangki *Silica Gel*	1	567,5	719,8	$2.900	$3.679
Tangki CaOH	1	567,5	719,8	$37.700	$47.821
Karbon Filter	1	567,5	719,8	$10.600	$13.446
Generator	1	567,5	719,8	$48.562	$61.599
Turbin	1	567,5	719,8	$9.400	$11.923
Pompa	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080

Nama Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
	1	567,5	719,8	$11,100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$1.500	$1.903
	1	567,5	719,8	$2.000	$2.537
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$1.500	$1.903
	1	567,5	719,8	$2.500	$3.171
	1	567,5	719,8	$5.100	$6.469
	1	567,5	719,8	$4.300	$5.454
	1	567,5	719,8	$4.300	$5.454
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$11.100	$14.080
	1	567,5	719,8	$1.500	$1.903
	1	567,5	719,8	$6.600	$8.372
	1	567,5	719,8	$1.500	$1.903
	1	567,5	719,8	$6.600	$8.372
	1	567,5	719,8	$6.600	$8.372
	1	567,5	719,8	$1.500	$1.903
	1	567,5	719,8	$6.600	$8.372
Total				**$2.002.962**	**$2.538.490**
				Rp35.512.516.260	**Rp45.007.434.254**

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi = 75.000 ton/tahun

Pabrik beroperasi = 330 hari

Umur alat = 10 tahun

Kurs mata uang = 1 $ = Rp17.730,56 (Per 25 Mei 2026)

Didirikan = 2030

UMR Kota Bontang = Rp4.253.484

6.3 Komponen Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Investment*)

Capital Investment adalah total biaya yang digunakan untuk membangun fasilitas pabrik beserta kelengkapannya beserta untuk mengoperasikan pabrik. *Capital Investment* terdiri dari:

a. Modal Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)

Fixed Capital Investment adalah biaya untuk pembangunan fasilitas produksi dan operasi. Biaya ini bersifat jangka panjang karena berkaitan langsung dengan aset tetap yang menunjang kegiatan operasional pabrik dalam jangka waktu yang lama.

Tabel 6.4 *Physical Plant Cost* (PPC)

Komponen	Biaya
PEC	Rp144.615.730.688
DEC	Rp36.153.932.672
Biaya Pemasangan	Rp62.184.764.196
Biaya Instrumentasi dan Kontrol	Rp43.384.719.206
Biaya Pemipaan	Rp124.369.528.392
Biaya Instalasi Listrik	Rp57.846.292.275
Biaya Bangunan	Rp102.876.215.766
Biaya Pengembangan Lahan	Rp144.615.730.688
Services Facilities	Rp115.692.584.551
Biaya Tanah	Rp172.832.042.487
Start Up Expenses Cost	Rp259.781.645
Total PPC	**Rp1.004.831.322.567**

Tabel 6.5 *Direct Plant Cost* (DPC)

Komponen	Biaya
Biaya Teknik dan Supervisi	Rp351.690.962.898
Biaya Konstruksi	Rp301.449.396.770
Contigenciest	Rp248.695.752.335

Komponen	Biaya
Total DPC	**Rp901.836.112.004**

Tabel 6.6 *Fixed Capital Investment* (FCI)

Komponen	Biaya
Total PPC	Rp1.004.831.322.567
Total DPC	Rp901.836.112.004
Total FCI	**Rp1.906.667.434.570**

b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)

Working Capital Investment merupakan modal yang diperlukan untuk membiayai operasional harian pabrik, seperti pengadaan bahan baku, gaji karyawan, dan biaya utilitas dalam kurun waktu tertentu. Pendanaan ini dapat bersumber dari pinjaman bank, modal pribadi, maupun investasi dari investor dengan target utama menghasilkan keuntungan yang optimal. Sebuah investasi dikatakan ideal apabila mampu menghasilkan laba maksimal, memiliki periode pengembalian modal yang cepat, serta didukung oleh aspek legalitas yang jelas, teknologi yang memadai, dan tingkat keamanan yang terjamin.

Tabel 6.7 *Working Capital Investment*

Komponen	Biaya
Raw material inventory	Rp132.179.033.178
In process inventory	Rp33.437.870.597
Product inventory	Rp185.765.947.759
Available cash	Rp185.765.947.759
Extended credit	Rp4.458.382.746.213
Total *Working Capital Investment*	**Rp4.995.531.545.505**

Tabel 6.8 *Capital Fixed Investment*

Komponen	Biaya
Total *Fixed Capital Investment*	Rp1.906.667.434.570
Total *Working Capital Investment*	Rp4.995.531.545.505
Total *Capital Fixed Investment*	**Rp6.902.198.980.076**

6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing Cost Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk proses pembuatan produk. *Manufacturing cost* merupakan jumlah dari *Direct Cost*. *Indirect Cost*, *Fixed Cost* yang selalu berkaitan dengan pembuatan suatu produk.

a. Direct Manufacturing Cost

Direct manufactoring cost (biaya langsung) adalah biaya pengeluaran yang masih berkaitan langsung dalam pembuatan produk yang berhubungan dengan memproduksi suatu produk dalam pabrik.

Tabel 6.9 *Direct Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya
Raw Material	Rp1.586.148.398.134
Biaya Pekerja Operasi	Rp16.014.000.000
Biaya *Direct Supervisory*	Rp4.003.500.000
Utilitas	Rp57.309.868.360
Biaya Perawatan dan Perbaikan	Rp133.466.720.420
Plant Supplies	Rp20.020.008.063
Royalty and Patent	Rp1.001.000.403
Total *Direct Manufacturing Cost*	**Rp1.817.963.495.380**

b. *Indirect Manufacturing Cost*

Indirect Manufacturing Cost (biaya tidak langsung) adalah biaya-biaya yang tidak ikut terkait langsung oleh unit produksi dalam pabrik.

Tabel 6.10 *Indirect Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya
Payroll Overhead	Rp3.202.800.000
Biaya Laboratorium	Rp4.804.200.000
Plant Overhead	Rp16.014.000.000
Packaging and Shipping	Rp82.140.088.195
Total *Indirect Manufacturing Cost*	**Rp106.161.088.195**

c. *Fixed Manufacturing Cost*

Fixed Manufacturing Cost (biaya tetap) adalah biaya yang dikeluarkan oleh pabrik pada saat kondisi operasi maupun tidak. Pengeluaran yang bersifat konstan atau tetap yang tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

Tabel 6.11 *Fixed Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya
Depreciation	Rp190.666.743.457
Property Taxes	Rp76.266.697.383
Insurances	Rp38.133.348.691
Total *Fixed Manufacturing Cost*	**Rp305.066.789.531**

Tabel 6.12 Total *Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya
Total *Direct Manufacturing Cost*	Rp1.817.963.495.380
Total *Indirect Manufacturing Cost*	Rp106.161.088.195
Total *Fixed Manufacturing Cost*	Rp305.066.789.531
Total *Manufacturing Cost*	**Rp2.229.191.373.106**

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General expenses atau pengeluaran umum mencakup seluruh biaya operasional perusahaan yang tidak termasuk dalam *manufacturing cost*. Biaya ini dialokasikan untuk mendukung kelancaran aktivitas perusahaan di luar proses produksi, seperti biaya administrasi, pemasaran, asuransi, hingga gaji staf manajemen dan keuangan.

Tabel 6.13 Total *General Expenses*

Komponen	Biaya
Biaya Administrasi	Rp133.751.482.386
Sales	Rp490.422.102.083
Research	Rp178.335.309.849
Finance	Rp276.087.959.203
Total *General Expenses*	**Rp1.078.596.853.521**

Tabel 6.14 Total Biaya Produksi

Komponen	Biaya
Total *Manufacturing Cost*	Rp2.229.191.373.106
Total *General Expenses*	Rp1.078.596.853.521
Total Biaya Produksi	**Rp3.307.788.226.628**

6.4 Analisa Keuntungan

a. Keuntungan Sebelum Pajak

Total penjualan = Rp4.167.813.165.551

Total *production cost* = Rp3.307.788.226.628

Keuntungan sebelum pajak = Total Penjualan - Total *Production Cost*

= Rp860.024.938.923

b. Keuntungan Setelah Pajak

Pajak (22% keuntungan) = Rp189.205.486.563

Keuntungan setelah pajak = Keuntungan Sebelum Pajak - Pajak

= Rp670.819.452.360

6.5 Analisa Risiko Pabrik

Analisa risiko pabrik bertujuan untuk mengidentifikasi dan menilai potensi bahaya yang timbul dari aktivitas operasional, sebagai dasar dalam mengklasifikasikan tingkat risiko pabrik ke dalam kategori risiko tinggi (*high risk*) atau risiko rendah (*low risk*). Adapun beberapa parameter yang menjadi pertimbangan antara lain:

Tabel 6.15 Parameter Analisa Risiko Pabrik

No.	Parameter Resiko	Deskripsi	*Risk*	
			Low	***High***
1.	Kondisi Operasi	Suhu operasi reaktor berada pada suhu 1700 ℃.		✓
		Tekanan operasi reaktor mencapai 5 atm.		✓
Bahan Baku yang Digunakan				
2.	Gas Alam (LNG)	Gas alam (LNG) memiliki nilai kalor tinggi dan mudah terbakar. Penyimpanan LNG pada suhu kriogenik memerlukan sistem khusus untuk mencegah kebocoran, penguapan, dan potensi kebakaran.		✓
Produk yang Dihasilkan				
3.	Karbon Hitam	karbon hitam berbentuk pellet merupakan produk yang memiliki bentuk fisik stabil sehingga lebih mudah ditangani, disimpan, dan	✓	

		didistribusikan. Produk ini tidak bersifat mudah terbakar secara spontan pada kondisi penyimpanan normal serta tidak memerlukan kondisi penyimpanan khusus seperti tekanan tinggi maupun temperatur rendah..		
		Logistik dan Transportasi		
4.	Lokasi dan Transportasi	Lokasi pabrik yang berada di Bontang dan berdekatan dengan sumber bahan baku LNG dari PT Badak LNG memberikan keuntungan dalam aspek transportasi dan logistik. Jarak distribusi bahan baku yang relatif dekat dapat mengurangi risiko keterlambatan pasokan, menekan biaya transportasi, serta meminimalkan potensi gangguan selama proses pengiriman.	✓	
		Regulasi Pemerintah		
5.	Lingkungan dan K3	PP No. 22 Tahun 2021 mengatur perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Risiko pelanggaran dapat terjadi apabila emisi gas buang, partikulat karbon hitam, limbah cair, dan limbah padat tidak dikendalikan sesuai baku mutu yang berlaku.		✓
6.	Perizinan Lingkungan	Permenhub No. 20/2015 (penyimpanan dan pengangkutan LNG, relevan untuk handling gas mudah terbakar).		✓
7.	K3 Lingkungan Kerja	Pabrik menerapkan sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang mencakup penggunaan alat pelindung diri (APD), sistem deteksi kebakaran, prosedur operasi standar, pelatihan pekerja, serta	✓	

		sistem tanggap darurat. Dengan adanya penerapan K3 yang terintegrasi, risiko kecelakaan kerja dan gangguan kesehatan pekerja dapat diminimalkan.	
Keberadaan Pabrik			
8.	Keberadaan Pabrik	Lokasi pabrik berada di kawasan industri Bontang sehingga risiko terhadap masyarakat sekitar lebih terkendali karena tersedia infrastruktur industri, utilitas pendukung, dan sistem tanggap darurat.	✓

Berdasarkan hasil penilaian:

a. Jumlah poin *low risk* : 4

b. Jumlah poin *high risk* : 5

Hasil penilaian menunjukkan bahwa pabrik ini termasuk dalam kategori risiko tinggi (*high risk*). Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi bahaya yang signifikan dalam kegiatan operasional, sehingga diperlukan langkah pengendalian risiko dan penerapan prosedur keselamatan yang ketat untuk menjamin keamanan serta kelancaran proses kerja.

6.6 Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan dilakukan untuk mengevaluasi potensi keuntungan operasional dan memastikan proyek perancangan pabrik memiliki dasar ekonomi yang kuat. Melalui evaluasi ini, dapat diukur apakah laba yang dihasilkan tergolong besar atau kecil, sehingga pabrik tersebut dapat dikategorikan sebagai proyek yang layak atau tidak layak secara finansial.

Beberapa kategori yang digunakan untuk menilai kelayakan ekonomi antara lain:

6.6.1 *Return On Investment* (ROI)

Return On Investment (ROI) merupakan tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang dikeluarkan. Pada umumnya resiko pabrik ditentukan berdasarkan nilai ROI sebelum pajak. Sebuah pabrik dikategorikan memiliki risiko rendah jika memiliki nilai ROI kurang dari 44%, sedangkan pabrik dengan risiko tinggi memiliki nilai ROI di atas ambang batas tersebut (Aries & Newton, 1955). Persamaan yang digunakan untuk menghitung persentase ROI adalah sebagai berikut:

$$ROI = \frac{Laba\ Tahunan}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\%$$

Tabel 6.16 *Return On Investment* (ROI)

Komponen	Persentase
ROI Sebelum Pajak	45,11%
ROI Setelah Pajak	35,18%

6.6.2 *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time (POT) adalah lama waktu pengembalian modal yang berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui dalam berapa tahun investasi yang telah dilakukan kembali. Persamaan yang digunakan untuk menghitung POT adalah sebagai berikut:

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{Keuntungan\ Tahunan + Depresiasi}$$

Tabel 6.17 *Pay Out Time* (POT)

Komponen	Tahun
POT Sebelum Pajak	1,81
POT Setelah Pajak	2,21

6.6.3 *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point (BEP) atau titik impas merupakan kondisi finansial di mana total pendapatan setara dengan total biaya produksi, sehingga perusahaan tidak memperoleh laba maupun kerugian. Untuk industri kimia, nilai BEP yang ideal umumnya berkisar antara 40% hingga 60% dari kapasitas produksi maksimum. Persamaan yang digunakan untuk menghitung BEP adalah sebagai berikut:

$$BEP = \frac{Fa + 0{,}3Ra}{Sa - va - 0{,}7Ra} \times 100\%$$

Dengan,

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada kapasitas produksi maksimum.

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada kapasitas produksi maksimum.

Va = *Annual Variable Cost* pada kapasitas produksi maksimum.

Sa = *Annual Sales Value* pada kapasitas produksi maksimum.

Tabel 6.18 *Annual Fixed Manufacturing* Cost (Fa)

Komponen	Biaya
Depreciation	Rp190.666.743.457
Property Taxes	Rp76.266.697.383

Komponen	Biaya
Insurances	Rp38.133.348.691
Total	**Rp305.066.789.531**

Tabel 6.19 *Annual Variable Cost* (Va)

Komponen	Biaya
Raw Material	Rp1.586.148.398.134
Packaging and Shipping	Rp82.140.088.195
Utilitas	Rp57.309.868.360
Royalty and Patent	Rp1.001.000.403
Total	**Rp1.726.599.355.092**

Tabel 6.20 *Annual Regulated Expenses* (Ra)

Komponen	Biaya
Gaji Karyawan	Rp16.014.000.000
Payroll Overhead	Rp3.202.800.000
Plant Overhead	Rp16.014.000.000
Direct Supervisory	Rp4.003.500.000
Laboratorium	Rp4.804.200.000
General Expenses	Rp1.073.596.853.521
Maintenence	Rp133.466.720.420
Plant Supplies	Rp20.020.008.063
Total	**Rp1.276.122.082.004**

Tabel 6.21 *Annual Sales Value* (Sa)

Komponen	Biaya
Annual Sales Value	Rp4.167.813.165.551

Dengan menggunakan data yang sudah didapatkan pada tabel diatas maka didapatkan nilai BEP sebesar 44,44%.

6.6.4 *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point (SDP) adalah titik atau kondisi saat penentuan suatu aktivitas produksi harus berhenti. Kondisi ini biasanya terjadi ketika biaya variabel (*variable cost*) terlalu tinggi atau saat manajemen menilai

operasional pabrik sudah tidak lagi ekonomis karena gagal menghasilkan profit. Secara finansial, penutupan dilakukan jika biaya untuk terus beroperasi jauh lebih besar dibandingkan kerugian yang harus ditanggung akibat membayar biaya tetap (*fixed cost*) saat pabrik berhenti beroperasi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung SDP adalah sebagai berikut:

$$SDP = \frac{0{,}3Ra}{Sa - va - 0{,}7Ra} \times 100\%$$

Didapatkan SDP = 24,73%

6.6.5 *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR)

Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) merupakan indikator untuk memperkirakan tingkat keuntungan tahunan yang dihasilkan dari modal yang masih tertanam selama umur operasional pabrik. Berbeda dengan analisis biasa, DCFRR mempertimbangkan nilai waktu dari uang (*time value of money*). Sebagai tolok ukur kelayakan, nilai DCFRR yang ideal biasanya harus lebih besar dari bunga bank, dengan batasan minimum sekitar 1,5 kali lipat dari suku bunga yang berlaku.

$$(FC + WC)(1+i)^n = CF[(1+i)^{n-1} + (1+i)^{n-2} + \cdots + (1+i) + 1]$$

Dengan,

n = Umur pabrik

WC = *Working Capital*

CF = *Cash Flow* setelah pajak

SV = *Salvage Value* (10% FCI)

FC = Keuntungan setelah pajak

i = *Interest/Discounted Cash Flow*

Sebagai perhitungan digunakan data sebagai berikut:

FC = Rp1.906.667.434.570

WC = Rp4.995.531.545.505

SV = Rp190.666.743.457

CF = Rp1.137.574.155.020

n = 10 tahun

Sehingga diperoleh nilai DCFRR sebagai berikut:

Suku bunga deposit = 5,25%

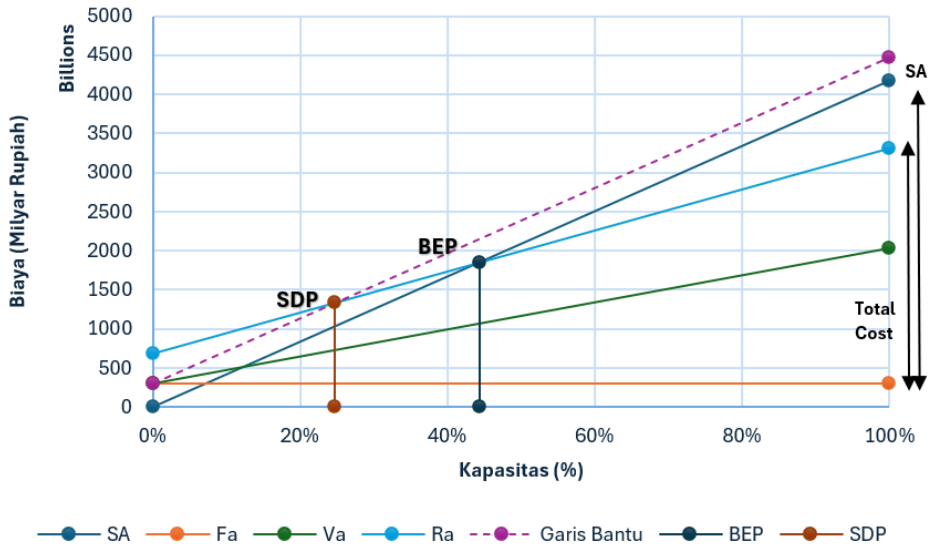
Suku bunga minimum = 7,88%

Persentase DCFRR = 15,27%

6.6.6 Hasil Analisa

Setelah seluruh parameter ekonomi seperti *Return on Investment* (ROI), *Pay Out Time* (POT), *Break Even Point* (BEP), *Shut Down Point* (SDP), dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) dihitung, diperoleh grafik hubungan antara kapasitas produksi (%) terhadap biaya (triliun rupiah per tahun) sebagaimana ditunjukkan pada grafik berikut. Grafik tersebut

memberikan gambaran mengenai kondisi operasional pabrik pada berbagai tingkat kapasitas produksi serta menunjukkan titik-titik penting yang berkaitan dengan kelayakan finansial pabrik.



Gambar 6.2 Grafik Evaluasi Ekonomi

Grafik evaluasi ekonomi ini menampilkan hubungan antara kapasitas produksi dengan komponen biaya dan pendapatan, yang meliputi *Fixed Cost* (FA), *Variable Cost* (VA), *Total Cost* (RA), dan *Sales* (SA). Selain itu, ditampilkan pula indikator utama dalam analisis ekonomi, yaitu *Break Even Point* (BEP) dan *Shut Down Point* (SDP). Melalui visualisasi ini, dapat diketahui batas minimum operasi pabrik agar tetap memperoleh keuntungan serta kondisi ketika pabrik sudah tidak layak untuk terus dioperasikan secara ekonomi.

Keunggulan ekonomi pabrik ini terlihat dari nilai *Break Even Point* (BEP) yang tercapai pada kapasitas 44,44%. Posisi BEP yang berada pada

rentang 40-60% ini menandakan tingkat efisiensi yang baik, karena pabrik sudah mampu mencapai titik impas tanpa harus beroperasi penuh. Selain itu, *Shut Down Point* (SDP) berada pada level 24,73%. Secara keseluruhan, margin yang lebar antara pendapatan dan biaya pada kapasitas tinggi, didukung dengan BEP yang moderat dan SDP yang rendah, membuktikan bahwa pabrik memiliki ketahanan yang kuat terhadap fluktuasi pasar sekaligus potensi keuntungan yang signifikan.

Tabel 6.22 Kesimpulan Analisa Kelayakan Ekonomi

Kriteria	**Terhitung**	**Persyaratan**	**Keterangan**
ROI	Sebelum pajak : 45,11% Setelah pajak : 35,18%	ROI before tax >44% = *High Risk* <44% = *Low Risk*	*High Risk*
POT	Sebelum pajak : 1,81 tahun Setelah pajak : 2,21 tahun	POT before taxes 5 tahun ≥ POT ≥ 2 tahun = *Low Risk* POT < 2 tahun = *High Risk*	*High Risk*
BEP	44,44%	*Range* 40 - 60%	Memenuhi
SDP	24,73%		
DCFRR	15,27%	> 1,5 bunga bank = 8,63%	Memenuhi

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan Prarancangan Pabrik *Carbon Black* dari Gas Alam Dengan Kapasitas 75.000 Ton/Tahun baik ditinjau secara teknis maupun ekonomi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik karbon hitam bertujuan untuk mengurangi ketergantungan impor dan memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri, sehingga dapat meningkatkan kemandirian dan ketahanan industri nasional.
2. Pabrik didirikan di daerah Bontang, Kalimantan Timur, dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku yang dekat, memiliki jalur trasportasi yang baik serta tersedianya tenaga kerja berkualitas dengan biaya yang relatif kompetitif.
3. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan. Pabrik ini layak didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut :
    a. *Return On Investment* (ROI)
        1) ROI sebelum pajak : 45,11%
        2) ROI setelah pajak : 35,18%
    b. *Pay Out Time* (POT)
        1) POT sebelum pajak : 1,81 tahun
        2) POT setelah pajak : 2,21 tahun
    c. *Break Event Point* (BEP) : 44,44%

d. *Shut Down Point* (SDP) : 24,73%

e. *Nilai Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) : 15,27%

4. Berdasarkan parameter-parameter kelayakan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik *carbon black* dari gas alam dengan kapasitas 75.000 ton/tahun ini layak didirikan dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

7.2 Saran

Prarancangan pabrik kimia memerlukan pemahaman konsep dasar yang matang agar pendirian pabrik dapat berjalan secara optimal dan layak secara teknis maupun ekonomis. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain sebagai berikut:

1. Pemilihan alat proses, alat penunjang, serta bahan baku harus dilakukan secara tepat agar proses produksi dapat berlangsung lebih efisien dan mampu memberikan keuntungan yang optimal.

2. Penentuan kondisi operasi yang sesuai juga menjadi faktor penting dalam pendirian pabrik *carbon black*, karena akan memengaruhi kualitas produk, efisiensi proses, dan kestabilan operasi pabrik.

3. Dalam pra rancangan pabrik kimia, aspek lingkungan perlu mendapat perhatian khusus mengingat proses produksi juga menghasilkan limbah. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan limbah yang tepat agar pabrik dapat beroperasi dengan lebih ramah lingkungan.

4. Produk *carbon black* memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri maupun ekspor yang terus meningkat, sehingga keberadaan pabrik ini diharapkan dapat mendukung perkembangan industri serta meningkatkan perekonomian Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2023). *Neraca Komoditas Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik. Diakses pada 6 Oktober 2025.

BMKG. (2026). *Prakiraan Cuaca Kota Bontang*. https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca/64.74. Diakses pada 29 April 2026.

Gautier, M., Rohani, V., & Fulcheri, L. (2017). Direct decarbonization of methane by thermal plasma for the production of hydrogen and high value-added carbon black. *International Journal of Hydrogen Energy Vol. 42*, 28140-28156.

Jiang, H., Shao, J., Zhu, Y., Yu, J., Cheng, W., Yang, H., . . . Chen, H. (2023). Production mechanism of high-quality carbon black from high-temperature pyrolysis of waste tire. *Journal of Hazardous Materials*, 130350.

Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1998). *Encyclopedia of Chemical Technology.* New York: John Wiley & Sons.

Lazuardi, A. (2019, November 21). *Pabrik karbon hitam di Cilegon tekan impor Rp1,5 triliun*. Retrieved from ANTARA: https://www.antaranews.com/berita/1174628/pabrik-karbon-hitam-di-cilegon-tekan-impor-rp15-triliun

Lestari, A. Y. D. (2023). Materi Kuliah Utilitas Pabrik [PowerPoint slides, slide 9]. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Islam Indonesia

Norris, C., Cerdan, A. L., Eaton, P., & Murfitt, M. (2025). The Importance of Feedstock and Process Control on the Composition of Recovered Carbon Black. *Polymers*, 2913.

Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's chemical engineers' handbook* (8th ed.). McGraw-Hill.

Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 5th Edition.* New York: McGraw Hill.

Ramly, M. A., & Setiyo, M. (2023). Carbon black: Production, properties, and utilization. *Mechanical Engineering for Society and Industry Vol. 3, No.1*, 1-3.

Scheiblehner, D., Neuschitzer, D., Wibner, S., Sprung, A., Tunes, M. A., Leuchtenmuller, M., . . . Luidold, S. (2025). The catalytic effect of Ni in methane pyrolysis using molten SnNi alloys for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1045-1054.

Wang, M.-J., Gray, C. A., Reznek, S. A., Mahmud, K., & Kutsovsky, Y. (2003). *Carbon Black.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Yaws, C. L. (1976). *Physical properties: A guide to the production and correlation of chemical engineering data*. McGraw-Hill.

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

REAKTOR

Jenis Alat : Reaktor *Furnace* (*Gravley Reactor,* US Patent 4822588)

Kondisi Operasi : Suhu : 1700 °C

: Tekanan : 5 atm

Reaksi : $CH_4 \rightarrow C + 2H_2$

1. Reaksi Kimia

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

a. Reaksi Pembakaran

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

b. Reaksi Perengkahan

$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$

2. Bagian-Bagian Utama Reaktor

a. Ruang Pembakaran

b. Ruang Pencampuran

c. Throat

d. Ruang Reaksi

3. Prinsip Kerja Reaktor

Bahan bakar berupa gas alam dialirkan ke dalam ruang pembakaran dan dibakar dengan O_2 (oksigen) sebanyak 10% *excess*. Selain itu, gas hasil pembakaran dialirkan ke dalam ruang pencampuran. Reaksi perengkahan terjadi pada kondisi operasi suhu 1700 °C dan tekanan 5 atm.

4. Menghitung Neraca Panas

Data kapasitas panas gas (Cp gas) perkomponen (J/mol.K)

Tabel 1.1 Data Kapasitas Panas Gas

Komponen	A	B	C	D	E
CH_4	34,49	-3,99E-02	1,92E-04	-1,53E-07	3,93E-11
C_2H_6	28,15	4,34E-02	1,89E-04	-1,91E-07	5,33E-11
C_3H_8	28,28	1,16E-01	1,96E-04	-2,33E-07	6,87E-11
n-C_4H_{10}	20,06	2,82E-01	-1,31E-05	-9,46E-08	3,41E-11
i-C_4H_{10}	6,78	3,41E-01	-1,03E-04	-3,68E-08	2,04E-11
n-C_5H_{12}	26,67	3,23E-01	4,28E-05	-1,66E-07	5,60E-11
i-C_5H_{12}	-0,88	4,75E-01	-2,48E-04	6,75E-08	-8,53E-12
C_6H_{14}	25,92	4,19E-01	-1,25E-05	-1,59E-07	5,88E-11
CO_2	27,44	4,23E-02	-1,96E-05	4,00E-09	-2,99E-13
N_2	29,34	-3,54E-03	1,01E-05	-4,31E-09	2,59E-13
O_2	29,53	-8,90E-03	3,81E-05	-3,26E-08	8,86E-12
Ar	20,79	0,00	0,00	0,00	0,00
H_2	25,40	2,02E-02	-3,85E-05	3,19E-08	-8,76E-12
H_2O	33,93	-8,42E-03	2,99E-05	1,78E-08	3,69E-12
C	21,07	-7,91E-04	5,09E-07	-6,91E-11	2,70E-15

Data kapasitas panas padat (Cp padat) (J/mol.K)

Tabel 1.2 Data Kapasitas Panas Padat

Komponen	A	B	C
C	-0,832	3,48E-02	-1,32E-05

a. Menghitung Entalpi yang Masuk

1) Menghitung Entalpi Aliran F2

T ref = 25 °C = 298,15 K

T in = 100 °C = 373,15 K

Tabel 1.3 Entalpi Aliran F2

Komponen	Massa (Kg/Jam)	Mol (Kmol/Jam)	Cp.dT (kJ/Kmol)	H (kJ/Jam)
CH_4	20.837,50	1.302,34	2.500,31	3,26E+06
C_2H_6	1.301,88	43,40	2.258,30	9,80E+04
C_3H_8	732,62	16,65	2.472,78	4,12E+04
n-C_4H_{10}	136,13	2,35	2.293,42	5,38E+03
i-C_4H_{10}	158,40	2,73	1.453,56	3,97E+03
n-C_5H_{12}	56,93	0,79	2.914,17	2,30E+03
i-C_5H_{12}	39,60	0,55	1.235,47	6,80E+02
C_6H_{14}	89,10	1,04	3.120,51	3,23E+03
CO_2	1.386,03	31,50	2.174,07	6,85E+04
N_2	12,38	0,44	2.192,08	9,69E+02
Total	**24.750,57**	**1.401,79**	-	**3,48E+06**

Nilai entalpi aliran F2 = 3,48E+06 kJ/Jam

2) Menghitung Entalpi Aliran F3

Tabel 1.4 Entalpi Aliran F3

Komponen	Massa (Kg/Jam)	Mol (Kmol/Jam)	Cp.dT (kJ/Kmol)	H (kJ/Jam)
N_2	152.831,64	5.458,27	2.192,08	1,20E+07
O_2	94.628,80	2.957,15	2.194,52	6,49E+06
Ar	2.712,01	67,80	1.558,95	1,06E+05
Total	**250.172,46**	**8.483,22**	**-**	**1,86E+07**

Nilai entalpi aliran F3 = 1,86E+07 kJ/Jam

Total input = 2,20E+07 kJ/Jam

b. Menghitung Entalpi yang Keluar

T ref = 25 °C = 298,15 K

T out = 1700 °C = 1973,15 K

Tabel 1.5 Entalpi yang Keluar

Komponen	Massa (Kg/Jam)	Mol (Kmol/Jam)	Cp.dT (kJ/Kmol)	H (kJ/Jam)
CO_2	31.786,20	722,41	81.762,11	5,91E+07
N_2	152.844,02	5.458,71	52.165,56	2,85E+08
O_2	52.049,97	1.626,56	55.782,47	9,07E+07
Ar	2.712,01	67,80	34.816,55	2,36E+06
H_2	3.125,63	1.562,81	50.103,54	7,83E+07
H_2O	23.028,33	1.279,35	136.691,90	1,75E+08
C	9.376,88	781,41	34.849,02	2,72E+07
Total	**274.923,02**	**11.499,06**	**-**	**7,17E+08**

Nilai entalpi aliran F4 = 7,17E+08 kJ/Jam

Menghitung panas reaksi (Q reaksi) standar pada 25 ℃ (298,15 K)

Tabel 1.6 Nilai Panas Reaksi

Komponen	ΔHf (298.15 K) (kJ/mol)	ΔHf (298.15 K) (kJ/Kmol)
CH_4	-74,5	-0,0745
C_2H_6	-83,8	-0,0838
C_3H_8	-104,7	-0,1047
n-C_4H_{10}	-125,6	-0,1256
i-C_4H_{10}	-134,2	-0,1342
n-C_5H_{12}	-146,9	-0,1469
i-C_5H_{12}	-154,7	-0,1547
C_6H_{14}	-166,9	-0,1669
CO_2	-393,5	-0,3935
N_2	0	0
O_2	0	0
Ar	0	0
H_2	0	0
H_2O	-241,8	-0,2418
C	0	0

∑Q total = Q keluar – Q reaksi + Q masuk

Q reaksi = Q produk – Q reaktan

Dimana,

Q produk = -473,211 kJ/Jam

Q reaktan = -115,84 kJ/Jam

Maka,

Q reaksi = 357,38 kJ/Jam

Asumsi Q *loss* = 5% dari H input

Heat combustion of methane = 802,3 kJ/mol (*Smith Vannes*, 1987)

ΔH in + Q *fuel* = ΔH out + ΔH reaksi + Q loss

2,20E+07 + 802,3 x n = 7,17E+08 + 357,38 + 1,10E+06

n = 867991,53 mol/Jam

Jadi, Q *fuel* = Hc x n

= 802,3 kJ/Jam x 867991,53mol/Jam

= 696389605,4 kJ/Jam

Massa metana yang dibutuhkan untuk pembakaran = 8.335 Kg/Jam

c. Neraca Panas

Tabel 1.7 Neraca Panas

Komponen	Masuk (kJ/Jam)	Keluar (kJ/Jam)
Q *fuel*	696.389.605,4	-
Entalpi masuk	22.040.640,27	-
Entalpi keluar	-	717.327.856,26
Entalpi reaksi	-357,38	-
Q *loss*	-	1.102.032,01
Total	**718.429.888,28**	**718.429.888,28**

5. Menghitung Suhu Ruang Pembakaran

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Komponen	ΔHf° (kJ/mol)
CH_4	-74.85
O_2	0
CO_2	-393.51
H_2O	-241.83

(*Yaws Handbook*)

$\Delta H_R = \Sigma v \Delta H°_{f(produk)} - \Sigma v \Delta H°_{f(reaktan)}$ (*Perry's*)

ΔH_R = -802,32 kJ/mol = -802320 kJ/Kmol

Heat loss = 5 – 7% (Smith Vannes)

Excess air = 10%

Kebutuhan oksigen = 2,2 Kmol O_2

Udara mengandung = 79% N_2

= 21% O_2

Massa N_2 = $Kebutuhan\ Oksigen \times \left(\frac{\%\ N_2}{\%\ O_2}\right)$

$= 2{,}2 \times \left(\frac{79\%}{21\%}\right)$

$= 8{,}28\ Kmol$

Menghitung Suhu Nyala Adiabatik

Semua panas pembakaran digunakan untuk menaikkan temperatur produk.

Total kapasitas panas produk:

$\Sigma n_i . C_{p,i}$ = 446,67 kJ/Kmol.K

$-\Delta H_R = \Sigma n_i . C_{p,i}(T_{adiabatik} - 298\ K)$

$802320 = 446{,}67 \times (T_{adiabatik} - 298\ K)$

$(T_{adiabatik} - 298\ K) = 1796{,}23$

$T_{adiabatik}$ = 2094 K

= 1821 ℃

Menghitung Suhu Operasi

Suhu operasi < suhu adiabatik

η = 92% − 94%

Diambil = 93%

Maka, suhu operasi:

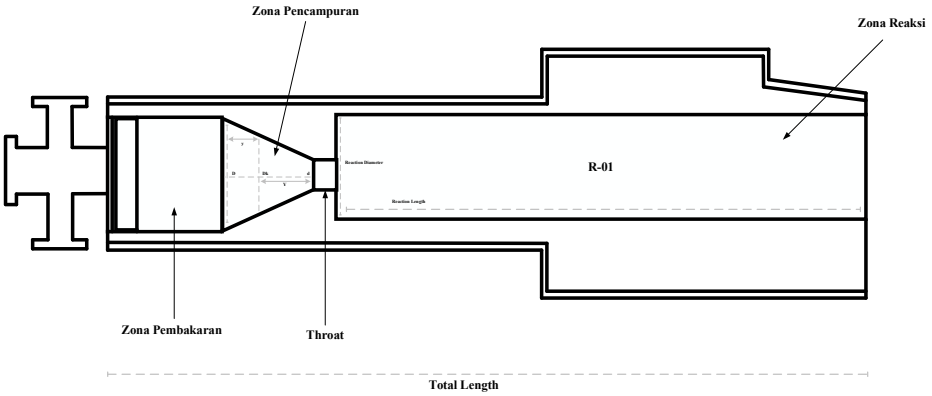
Suhu operasi = 298 K + 93% + (2094 K – 298 K)

= 1968,50 K

= 1695,50 ℃

= 1700 ℃

6. Perancangan Reaktor



Gambar 1. *Furnace Reactor*

a. Perancangan *Throat*

Perancangan berdasarkan spesifikasi *Furnace Reactor* (*Gravley Reactor*, US Patent 4.822.588). Dimensi dari tiap bagian reaktor ditentukan berdasarkan diameter *throat*. Diameter *throat* dihitung pada kondisi standar yaitu 60 ºF, 1 atm dan satuan yang dipakai adalah SCFH (*Standard Cubic Feet per Hour*).

Jumlah gas-gas hasil pembakaran dari hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar:

Tabel 1.8 Gas Hasil Pembakaran

Komponen	BM	Kg/Jam	Kmol/Jam
CO_2	44	30.400,17	690,91
N_2	28	152.831,64	5.458,27
Ar	40	2.712,01	67,80
H_2O	18	23.028,33	1.279,35
O_2	32	52.049,97	1.626,56

Faktor komprebilitas gas = 0,9988 (Reid, 1987)

Jumlah volumetrik gas yang melewati *throat*:

T = 60 ºF = 333,15 K

P = 1 atm

R = 0,0821 atm.L/Kmol.K

VGHP = 207.649,66 L.atm

= 7.333,08 ft^3/Jam (SCFH)

Range jumlah volumetrik gas melewati *throat* yang diisyaratkan adalah $11.000R^2 – 19.000R^2$, dengan R adalah jari-jari *throat* dalam inchi (US Patent 4.822.588).

Dipilih,

V = $19.000\ R^2$

7.333,08 = $19.000\ R^2$

R = 0,62 ft

= 7,46 in

D = 2R

D = 14,91 in

= 0,38 m

Range panjang yang diisyaratkan ialah 0,2 – 2x diameter throat (US Patent 4.822.588).

Panjang *throat* $= 2 \times diameter\ throat$

$= 0{,}76\ m$

Volume *throat* $= {}^{\pi}/_{4} \times D^2 \times L$

$= {}^{\pi}/_{4} \times 0{,}38^2\ m \times 0{,}76\ m$

$= 0{,}45\ m^3$

Panjang *throat overdesign* (20%) = 0,91 m

Volume *throat overdesign* (20%) = $0,54\ m^3$

b. Perancangan Ruang Pembakaran

Diameter zona pembakaran 2 – 5 kali diameter *throat* (US Patent 4.822.588). Pada perancangan ini diambil diameter zona pembakaran 2 kali diameter throat.

Diameter zona pembakaran $= 2 \times 0{,}38\ m$

$= 0{,}76\ m$

Panjang zona pembakaran 3 – 3,5 kali diameter throat (US Patent 4.822.588). Pada perancangan ini diambil panjang zona pembakaran 3,5 kali diameter throat.

Panjang zona pembakaran $= 3{,}5 \times 0{,}38\ m$

$= 1{,}33\ m$

Volume pembakaran $= {}^{\pi}/_{4} \times 0{,}38^2\ m \times 0{,}76\ m$

$= {}^{\pi}/_{4} \times 0{,}76^2\ m \times 1{,}33\ m$

$= 1{,}58\ m^3$

Kecepatan massa bahan bakar = 8.335 m^3

Densitas metana = 161,60 kg/jam

BM udara = 28,94 gr/mol

Densitas $= \frac{P \times BM}{R \times T}$

$= \frac{5\ atm \times 28{,}94\ gr/mol}{0{,}0821\ atm.\frac{L}{mol.K} \times 373{,}15\ K}$

= 4,73 gr/L

= 4,73 kg/m^3

w = kec. massa bahan bakar + kec. massa udara

= 258.507,46 kg/jam

Fv $= \frac{Kecepatan\ massa\ bahan\ bakar}{Densitas\ metana} + \frac{Kecepatan\ \ massa\ udara}{Densitas\ udara}$

$= 51{,}58\,\frac{m^3}{jam} + 52.938{,}31\,\frac{m^3}{jam}$

$= 52.989{,}89\ m^3/jam$

Panjang ruang pembakaran *overdesign* (20%) = 1,59 m

Volume ruang pembakaran *overdesign* (20%) = 1,89 m^3

Waktu tinggal $= \frac{Volume\ pembakaran}{Fv}$

$= \frac{1{,}89\ m^3}{52.989{,}89\ m^3/jam}$

$= 0{,}000036\ jam$

$= 0{,}13\ detik$

c. Perancangan Ruang Pencampuran

Bentuk : Kerucut terpenggal

Volume $= \frac{\pi y}{12} \times \frac{D^3 - d^3}{D - d}$

Dimana,

Y = Ruang pencampuran (m)

D = Diameter masuk ruang pencampuran (dari ruang pembakaran) (m)

d = Diameter keluar ruang pencampuran (masuk ke throat) (m)

Range Y diisyaratkan 2 – 5 kali diameter *throat* (US Patent, 4.822.588)

Maka,

Y = 1,89 m

D = 0,76 m

d = 0,38 m

Penentuan letak *nozzle* umpan menggunakan algoritma:

1. Trial y
2. Menghitung diameter masuk dengan perbandingan $D_k = D - y\frac{(D-d)}{Y}$
3. Volume trial $= \frac{\pi Y}{12} \times \frac{(D^3 - {D_k}^3)}{(D - D_k)}$
4. Volume *overdesign* $= 0{,}2 \times volume\ pembakaran$

   $= 0{,}2 \times 1{,}58\ m^3$

   $= 0{,}32\ m^3$
5. Iterasi dilakukan hingga volume *overdesign* – volume trial = 0

Dari hasil perhitungan, diperoleh:

y = 0,8 m

Dk = 0,60 m

Panjang total ruang pencampuran = Y + y

$= (1{,}89 + 0{,}8)\ m$

$= 2{,}69\ m$

Volume ruang pencampuran dari *nozzle*

V $= \frac{\pi Y}{12} \times \frac{({D_k}^3 - d^3)}{(D_k - d)}$

$= \frac{\pi Y}{12} \times \frac{(0{,}60^3 - 0{,}38^3)}{(0{,}60 - 0{,}38)}$

$= 0{,}36\ m^3$

V *throat* $= 0{,}45\ m^3$

Volume total = V ruang pencampuran dari *nozzle* + V *throat*

$= (0{,}36 + 0{,}45)\ m^3$

$= 0{,}81\ m^3$

V umpan $= \frac{Massa\ umpan}{Densitas\ umpan}$

$= \frac{261.022{,}12\ kg/jam}{462{,}88\ kg/m^3}$

$= 563{,}91\ m^3/jam$

VGHP $= \left(\frac{867991{,}53 \frac{mol}{jam} \times 0{,}0821\ atm.\frac{L}{Kmol.K} \times 1973{,}15\ K}{5\ atm}\right) \times \left(\frac{1}{1000}\right)$

$= 28.107{,}44\ m^3/jam$

Volume umpan + VGHP $= (563{,}91 + 28.107{,}44)\ m^3/jam$

$= 28.671{,}35\ m^3/jam$

Waktu tinggal $= \frac{V\ total}{V\ umpan + VGHP}$

$= \frac{0{,}81\ m^3}{28.671{,}35\ m^3/jam}$

$= 0{,}000028$ jam

$= 0{,}10$ detik

d. Perancangan Ruang Reaksi

Diameter zona reaksi diisyaratkan 1,2 – 3 kali diameter *throat.* Pada perancangan ini diambil 1,2 kali dari diameter *throat.*

Diameter zona reaksi $= 1{,}2 \times diameter\ throat$

$= 1{,}2 \times 0{,}38\ m$

$= 0{,}45$ m

Komposisi gas masuk ruang reaksi:

Tabel 1.9 Komposisi Gas Masuk Ruang Reaksi

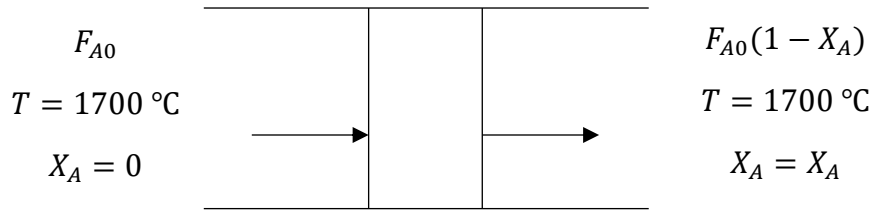
Komponen	BM	Masuk		Fraksi Mol
		Kmol/Jam	Kg/Jam	
CH_4	16	781,41	12.502,50	0,08
CO_2	44	722,41	31.786,20	0,07
N_2	28	5.458,71	152.844,02	0,55
O_2	32	1.626,56	52.049,97	0,16
Ar	40	67,80	2.712,01	0,01
H_2O	18	1.279,35	23.028,33	0,13
Total		**9.936,25**	**274.923,02**	**1**

BM Gas = 27,67 kg/kmol

Perubahan komposisi gas pada ruang reaksi

Tabel 1.10 Perubahan Komposisi Gas pada Ruang Reaksi

Gas Masuk	Xa = 0		Xa	
CH_4	0,08	F0	0,08	F0(1-X)
CO_2	0,07	F0	0,07	F0
N_2	0,55	F0	0,55	F0
O_2	0,16	F0	0,16	F0
Ar	0,01	F0	0,01	F0
H_2O	0,13	F0	0,13	F0
C	0	F0	0,08	F0
H_2	0	F0	0,16	F0
Total	**1**	F0	F0	**(1 + 0,24X)**



Neraca massa A pada elemen z, z + Δz

Input – Out – Reaction = Accumulation

$$F_{A|z} - \left[F_{A|z+\Delta z} + (-r_A) \times A \times \Delta z\right] = 0$$

$$\lim_{\Delta z \to 0} \frac{F_{A|z+\Delta z} - F_{A|z}}{\Delta z} = (-r_A) \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$-\frac{dF_A}{dz} = (-r_A) \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \qquad \text{(R-01)}$$

$$F_A = F_{A0}(1 - X_A)$$

$$-dF_A = F_{A0} \times dx_A$$

$$-\frac{dF_A}{dz} = F_{A0} \times \frac{dx_A}{dz}$$

$$F_{A0} \times \frac{dx_A}{dz} = (-r_A) \times \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$\frac{dx_A}{dz} = \frac{(-r_A) \times \pi \times D^2}{4 \times F_{A0}} \qquad \text{(R-02)}$$

Dengan

$$D = 1{,}2 \times diameter\ throat$$

$$= 1{,}2 \times 0{,}38\ m$$

$$= 0{,}45\ m$$

$$F_{A0} = 781{,}41\ kmol/jam$$

$$\frac{dx_A}{dz} = \frac{-(-r_A) \times \pi \times (\,0{,}45\ m)^2}{4 \times 781{,}41\ kmol/jam}$$

Menurut Nelson, 1985:

Reaksi dekomposisi termal merupakan reaksi orde 1 dengan persamaan kecepatan reaksi sebagai berikut:

$$-r_A = k \times C_A \qquad \text{(R-03)}$$

Fraksi mol CH_4

$$y_A = \frac{F_A}{F_{total}} \qquad \text{(R-04)}$$

Berdasarkan tabel perubahan komposisi gas pada zona reaksi, didapatkan:

$$F_A = 0{,}08\ (1 - X_A)F_0 \quad \text{(R-05)}$$

$$F_{total} = (1 + 0{,}24\ X_A)F_0 \quad \text{(R-06)}$$

Substitusi persamaan (R-05) dan (R-06) ke persamaan (R-04):

$$y_A = \frac{0{,}08\ (1-X_A)F_0}{(1+0{,}24\ X_A)F_0}$$

$$y_A = \frac{0{,}08\ (1-X_A)}{(1+0{,}24\ X_A)} \quad \text{(R-07)}$$

Konsentrasi CH_4

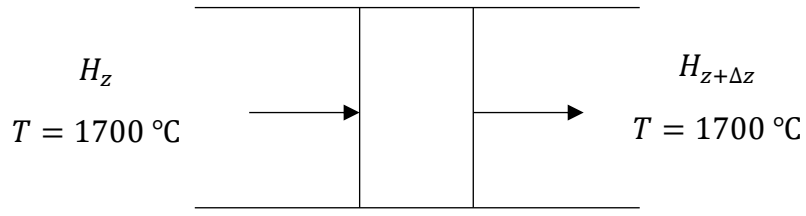
$$C_A = y_A \times \frac{P}{R \times T} \quad \text{(R-08)}$$

Substitusi persamaan (R-07) ke (R-08):

$$C_A = \frac{0{,}08\ (1-X_A)}{(1+0{,}24\ X_A)} \times \frac{5\ atm}{0{,}0821\ m^3.\frac{atm}{kmol.K} \times T(K)} \quad \text{(R-09)}$$

Neraca panas ruang reaksi diasumsikan:

1. Adiabatis
2. *Steady state*



Neraca panas pada elemen volume:

Input – Out – Reaction = Accumulation

$$[\Sigma(F_i.H_i)|_z] - [\Sigma(F_i.H_i)|_{z+\Delta z}] = 0$$

$$\lim_{\Delta z \to 0} \frac{(F_i.H_i)|_{z+\Delta z} - (F_i.H_i)|_z}{\Delta z} = 0$$

$$\frac{d(\Sigma(F_i.H_i))}{dz} = \Sigma \frac{d(F_i.H_i)}{dz}$$

$$\Sigma\left(F_i.\frac{dH_i}{dT}.\frac{dT}{dz}\right) + \Sigma\left(H_i.\frac{dF_i}{dz}\right) = 0$$

$$\left(\Sigma F_i.C_{p.i}\right)\frac{dT}{dz} + \Sigma\left(H_i.\frac{dF_i}{dz}\right) = 0 \qquad \text{(R-10)}$$

$$\Sigma\left(H_i.\frac{dF_i}{dz}\right) = H_{CH4}.\frac{dF_{CH4}}{dz} + H_C.\frac{dF_C}{dz} + H_{H2}.\frac{dF_{H2}}{dz} + H_{CO2}.\frac{dF_{CO2}}{dz} + H_{H2O}.\frac{dF_{H2O}}{dz} + H_{O2}.\frac{dF_{O2}}{dz} + H_{Ar}.\frac{dF_{Ar}}{dz} + H_{N2}.\frac{dF_{N2}}{dz}$$

$$\frac{dF_{CO2}}{dz} = \frac{dF_{H2O}}{dz} = \frac{dF_{O2}}{dz} = \frac{dF_{Ar}}{dz} = \frac{dF_{N2}}{dz} = 0 \qquad \text{(R-11)}$$

Substitusi (R-09) ke (R-08):

$$\Sigma\left(H_i.\frac{dF_i}{dz}\right) = H_{CH4}.\frac{dF_{CH4}}{dz} + H_C.\frac{dF_C}{dz} + H_{H2}.\frac{dF_{H2}}{dz} \qquad \text{(R-12)}$$

Berdasarkan persamaan (R-11):

$$\frac{dF_{CH4}}{dz} = \frac{dF_A}{dz} = \frac{0{,}08\,F_0 dX_A}{dz} \qquad \text{(R-13)}$$

Berdasarkan tabel perubahan komposisi gas pada ruang reaksi didapatkan:

$$F_C = 0{,}08\,F_0X_A \qquad \text{(R-14)}$$

$$F_{H2} = 0{,}16\,F_0X_A \qquad \text{(R-15)}$$

Sehingga:

$$\frac{dF_C}{dz} = \frac{0{,}08\,F_0 dX_A}{dz} \qquad \text{(R-16)}$$

$$\frac{dF_{H2}}{dz} = \frac{0{,}16\,F_0 dX_A}{dz} \qquad \text{(R-17)}$$

Substitusi persamaan (R-13), (R-14), dan (R-15) ke persamaan (R-12):

$$\Sigma\left(H_i.\frac{dF_i}{dz}\right) = (0{,}08H_{CH4} + 0{,}08H_C + 0{,}16H_{H2})F_0\frac{dX_A}{dz} \qquad \text{(R-18)}$$

Substitusi persamaan (R-18) ke persamaan (R-10):

$$\sum(F_i.C_{p.i})\frac{dT}{dz} + F_0\frac{dX_A}{dz}(0{,}08H_{CH4} + 0{,}08H_C + 0{,}16H_{H2}) = 0 \quad \text{(R-19)}$$

$$\sum(F_i.C_{p.i})\frac{dT}{dz} + F_0\frac{dX_A}{dz}(H_C + 2H_{H2} - H_{CH4}) = 0 \quad \text{(R-20)}$$

Panas reaksi perengkahan metana

$$\Delta H_R = (H_C + 2H_{H2} - H_{CH4}) \quad \text{(R-21)}$$

Substitusi persamaan (R-21) ke persamaan (R-20):

$$\sum(F_i.C_{p.i})\frac{dT}{dz} + F_0(\Delta H_R)\frac{dX_A}{dz} = 0 \quad \text{(R-22)}$$

$$\sum(F_i.C_{p.i})\frac{dT}{dz} = -F_0(\Delta H_R)\frac{dX_A}{dz}$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{-F_0(\Delta H_R)\frac{dX_A}{dz}}{(\Sigma F_i.C_{p.i})} \quad \text{(R-23)}$$

Dengan:

Panas reaksi ΔH_{RT} pada suhu reaksi T adalah:

$$\Delta H_{RT} = \Delta H_R^0 + \int_{TR}^{T}(Cp_C + 2Cp_{H2} - Cp_{CH4})\,dT \quad \text{(R-24)}$$

Dan

$$(\Sigma F_i.C_{p.i}) = F_{CH4}.Cp_{CH4} + F_C.Cp_C + F_{H2}.Cp_{H2} + F_{CO2}.Cp_{CO2} + F_{H20}.Cp_{H20} + F_{O2}.Cp_{O2} + F_{Ar}.Cp_{Ar} + F_{N2}.Cp_{N2}$$

Dari tabel perubahan komposisi gas pada zona reaksi diketahui:

$$(\Sigma F_i.C_{p.i}) = 0{,}08F_0(1 - X_A)Cp_{CH4} + 0{,}08F_0Cp_C + 0{,}16F_0Cp_{H2} + 0{,}07F_0Cp_{CO2} + 0{,}13F_0Cp_{H2O} + 0{,}16F_0Cp_{O2} + 0{,}01F_0Cp_{Ar} + 0{,}55F_0Cp_{N2} \quad \text{(R-25)}$$

Panas Reaksi ΔH_{RT}

Pada reaksi ΔH_{RT} dapat dicari melalui perhitungan dari data panas pembakaran dan entalphi pembentukan standar yang diperoleh.

Panas Reaksi Standar

Reaksi Perengkahan

$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$

$\Delta H_R^0\ (298\ K) = \Delta H^0 produk - \Delta H^0 reaktan$

$= (\Delta H^0 C + \Delta H^0 H2) - \Delta H^0 CH_4$

$= (0 + 0) - (-74{,}5)\ kJ/mol$

$= 74\ \frac{kJ}{mol}$ (R-26)

Penyelesaian Persamaan Diferensial Ordiner Simulttan

Persamaan (R-01) dan (R-18)

$\frac{dX_A}{dz} = f_1(x, T)$ (R-27)

$\frac{dT}{dz} = f_2(x, T)$ (R-28)

$k_1 = f_1(x_0, T_0).\Delta z$ (R-29)

$l_1 = f_2(x_0, T_0).\Delta z$ (R-30)

$k_2 = f_1\left(x_0 + \frac{k_1}{2}, T_0 + \frac{l_1}{2}\right).\Delta z$ (R-31)

$l_2 = f_2\left(x_0 + \frac{k_1}{2}, T_0 + \frac{l_1}{2}\right).\Delta z$ (R-32)

$k_3 = f_1\left(x_0 + \frac{k_2}{2}, T_0 + \frac{l_2}{2}\right).\Delta z$ (R-33)

$l_3 = f_2\left(x_0 + \frac{k_2}{2}, T_0 + \frac{l_2}{2}\right).\Delta z$ (R-34)

$k_4 = f_1(x_0 + k_3, T_0 + l_3).\Delta z$ (R-35)

$l_4 = f_2(x_0 + k_3, T_0 + l_3).\Delta z$ (R-36)

$x_1 = x_0 + \frac{(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)}{6}$ (R-37)

$T_1 = T_0 + \frac{(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + k_4)}{6}$ (R-38)

Algoritma Perhitungan Reaktor

Proses perhitungan dilakukan menggunakan metode *Range-Kutta* dan didapatkan iterasi sebagai berikut:

Diameter zona reaksi = 0,45 m

Panjang zona reaksi = 3,95 m

Panjang *overdesign* (20%) = 4,74 m

Komposisi gas keluar ruang reaksi:

Tabel 1.11 Komposisi Gas Keluar Ruang Reaksi

Komponen	BM	Keluar		Fraksi Mol
		Kmol/Jam	Kg/Jam	
CO_2	44	722.41	31786.20	0,06
N_2	28	5458.71	152844.02	0,47
O_2	32	1626.56	52049.97	0,14
Ar	40	67.80	2712.01	0,01
H_2O	18	1279.35	23028.33	0,11
C	12	781.41	9376.88	0,07
H_2	2	1562.81	3125.63	0,14
Total		**11499.06**	**274923.02**	**1**

7. Menentukan Tebal Isolasi pada Dinding Reaktor

Spesifikasi bahan dinding reaktor:

a. Lapisan Bata Tahan Api (*Perry,* 1977)

Bahan baku : *Silicon Carbide* (Si-C)

Titik lebur : 2573 K

Konduktivitas thermal : 6,3 Btu/(hr.ft^2.R)

b. Lapisan Isolasi

Bahan baku : *Fiber blanket*

Konduktivitas thermal : 0,028 Btu/(hr.ft^2.R)

c. Lapisan *Carbon Steel*

Konduktivitas thermal : 26 Btu//(hr.ft^2.R)

Asumsi:

1. Kondisi *steady state.*
2. Koefisien perpindahan panas konduksi bernilai tetap.
3. Perpindahan panas hanya terjadi pada arah radial.

a) Tebal bata tahan api = 0,5 x (D Pembakaran – D Reaksi) + Tebal Standar

$$= 0{,}5 \times (0{,}76 - 0{,}57)\ m + 0{,}23\ m$$

$$= 0{,}32\ m \approx 12{,}59\ in$$

b) Tebal lapisan baja

$$t = \frac{P \times r}{f \times E - 0{,}6P} + C \qquad \text{(R-39)}$$

Dimana,

P = *Design pressure* = 5 atm

$= 5\ atm \times 14{,}7\ psi$

= 73,50 psia

= 66,13 psig

r = Jari-jari reaktor = 0,17 m

= 6,88 in

f = *Maximum allowable stress* = 18.333,33 psi

E = Efisiensi sambungan = 0,95

C = *Corrosion allowance* = 2 mm

= 0,08 in

$t = \frac{P \times r}{f \times E - 0{,}6P} + C$

$t = \frac{66{,}13\ psi \times 6{,}88\ in}{18.333{,}33\ psi \times 0{,}95 - 0{,}6 \times 66{,}13\ psi} + 0{,}08\ in$

$t = 0{,}10\ in$

Tebal standar yang diisyaratkan ialah 0,5 – 6 in. Pada perancangan ini diambil 0,5. Maka:

Tebal standar = 0,5 in

= 0,0127 m

Berdasarkan geometri pipa:

$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_{total}$

$Q_1 = U_1 \times A_1 \times \left(T_{gas} - T_{udara}\right)$

$Q_2 = h_{udara} \times A_4 \times (T_{steel} - T_{udara})$

$Q_1 = Q_2$

$$U_1 = \frac{h_{udara} \times R_4 \times (T_{steel} - T_{udara})}{R_1 \times (T_{gas} - T_{udara})} \quad \text{(R-40)}$$

$$\frac{q_r}{A_1.(T_{gas} - T_{ud})} = \frac{1}{\frac{1}{h_{gas}.R_1} + \frac{\ln\left({}^{R_2}/_{R_1}\right)}{k_{brick}} + \frac{\ln\left({}^{R_3}/_{R_2}\right)}{k_{isolasi}} + \frac{\ln\left({}^{R_4}/_{R_3}\right)}{k_{steel}} + \frac{1}{R_4.h_{udara}}}$$

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_{gas}} + \frac{R_1.\ln\left({}^{R_2}/_{R_1}\right)}{k_{brick}} + \frac{R_1.\ln\left({}^{R_3}/_{R_2}\right)}{k_{isolasi}} + \frac{R_1.\ln\left({}^{R_4}/_{R_3}\right)}{k_{steel}} + \frac{1}{R_4.h_{udara}}} \quad \text{(R-41)}$$

Dengan,

R_1 = Jari-jari ruang perengkahan (m)

R_2 = R_1 + tebal bata tahan api (m)

R_3 = R_2 + tebal isolasi (m)

R_4 = R_3 + tebal lapisan *carbon steel* (m)

U_l = Koefisien perpindahan panas berdasar diameter ruang perengkahan (m)

T_{steel} = Suhu permukaan *carbon steel* (K)

T_{gas} = Suhu reaksi perengkahan (K)

T_{udara} = Suhu udara luar (K)

Koefisien Perpindahan Panas Gas dalam Reaktor

Menurut *Griswold,* 1946:

$h_{gas} = 1{,}6 \times G^{2/3} \times (T_{gas})^{0{,}3} \times D^{-1/3}$ (Btu/ hr.ft^2.R) (R-42)

Dimana,

G = Kecepatan gas pada luas penampang terkecil (lb/ft^2.s)

T_{gas} = Suhu gas, (ºR)

D = Diameter ruang perengkahan (in)

$h_{gas} = 1{,}6 \times (58{,}59)^{\frac{2}{3}} \times (3.552)^{0{,}3} \times (22{,}37)^{-1/3}$

= 99,53 Btu/hr.ft^2.R

Koefisien Perpindahan Panas Dinding Luar dengan Udara

Menurut *Griswold,* 1946:

$$h_c = \frac{0{,}53 \times C \times (T_{steel} - T_{udara})^{0{,}27}}{T_{avg}} \quad \text{(Btu/hr.ft}^2\text{.R)} \quad \text{(R-43)}$$

$$h_c = \frac{0{,}53 \times 1{,}79 \times (564 - 546)^{0{,}27}}{555}$$

$$h_c = 0{,}66 \frac{Btu}{ft^2.hr.R}$$

$$h_r = 0{,}173 \times \varepsilon \times \frac{\left[\left(\frac{T_{steel}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{udara}}{100}\right)^4\right]}{(T_{steel} - T_{udara})} \quad \text{(Btu/hr.ft}^2\text{.R)} \quad \text{(R-44)}$$

Dengan,

$\varepsilon = 0{,}8$ $(Griswold, 1946)$.

$$h_r = 0{,}173 \times 0{,}8 \times \frac{\left[\left(\frac{564}{100}\right)^4 - \left(\frac{546}{100}\right)^4\right]}{(564-546)}$$

$$h_r = 0{,}95 \ \frac{Btu}{ft^2.hr.R}$$

h udara = hc + hr (R-45)

= (0,66 + 0,95) Btu/hr.ft^2.R

= 1,61 Btu/hr.ft^2.R

Hasil perhitungan sebagai berikut:

Tebal isolasi = 0,26 m = 10,17 in

U = 0,02 Btu/hr.ft^2.R

R_1 = 0,57 m

R_2 = 0,89 m

R_3 = 1,15 m

R_4 = 1,16 m

8. *Pressure Drop*

Menurut Kern, 1965:

$$\Delta P_t = \frac{f \times G^2 \times L \times n}{5{,}22 \times 10^{10} \times D \times S \times \emptyset_t} \quad \text{(R-46)}$$

Dimana,

ΔPt = *Pressure drop* (psi)

L = Panjang (ft)

D = Diameter (ft)

A = Luas penampang (ft^2)

F_{total} = Kecepatan total (lb/hr)

G = Kecepatan per luas penampang (lb/hr.ft) $= \frac{F_{total}}{\mu}$

S = *Spesific Gravity*

μ = Viskositas (lb/ft.hr)

Re = Bilangan Reynolds $= \frac{G \times D}{\mu}$

f = Faktor Friksi

Pressure Drop

$\Delta P_t = \frac{0{,}0009 \times (117.401{,}77)^2 \times 4{,}35 \times 1}{5{,}22 \times 10^{10} \times 2{,}49 \times 0{,}54 \times 1}$

= 7,64E-05 psi = 5,20E-06 atm

Re = 4,34E+06

P *Out* = 5 atm

9. Burner

Dipilih jenis *Low Pressure Air Atomizing Burner* (*Griswold*, 1946).

Kapasitas = 500 GHP = 1,89 m^3/jam

Bahan bakar = 8.335 kg/jam

Densitas metana = 161,60 kg/m^3

Kecepatan bahan bakar $= \frac{Jumlah\ bahan\ bakar}{Densitas} = \frac{8.335\ kg/jam}{161{,}60\ kg/m^3}$

= 51,58 m^3/jam

Jumlah *burner* $= \frac{Kecepatan\ bahan\ bakar}{Kapasitas} = \frac{51{,}58\ m^3/jam}{1{,}89\ m^3/jam}$

$= 27{,}25 \approx 28$

10. Pipa Pengumpan dan *Nozzle*

a. Pipa Pengumpan Udara

Digunakan 4 buah pipa

Jumlah massa mengalir = 0,25 kebutuhan udara total

Kebutuhan udara = 250.172,46 kg/jam = 69,49 kg/s

Jumlah massa mengalir = 17,37 kg/s

Rho udara = 4,73 kg/m^3

Untuk pipa yang terbuat dari *stainless steel*:

Di_{opt} $= 226 \times W^{0,5} \times \rho^{-0,35}$

$= 226 \times 17{,}37^{0,5} \times 4{,}73^{-0,35}$

$= 546{,}99\ mm \approx 21{,}54\ in$

Digunakan:

NPS = 22 in

Sch = 20

ID = 21,25 in

OD = 22 in

b. *Nozzle* Pengumpan Bahan Bakar

Digunakan 4 buah *nozzle*

Jumlah massa mengalir = 0,25 kebutuhan bahan bakar total

Kebutuhan udara = 24.50,57 kg/jam = 6,88 kg/s

Jumlah massa mengalir = 1,72 kg/s

Rho udara = 452,39 kg/m^3

Untuk pipa yang terbuat dari *stainless steel*:

Di_{opt} $= 226 \times W^{0,5} \times \rho^{-0,35}$

$= 226 \times 1{,}72^{0,5} \times 453{,}39^{-0,35}$

$= 35{,}87\ mm \approx 1{,}41\ in$

Digunakan:

NPS = 1,5 in

Sch = 40

ID = 1,61 in

OD = 1,9 in

c. *Nozzle* Pengumpan Bahan Baku

Digunakan 4 buah *nozzle*

Jumlah massa mengalir = 0,25 kebutuhan bahan baku total

Kebutuhan udara = 8.335 kg/jam = 2,32 kg/s

Jumlah massa mengalir = 0,58 kg/s

Rho udara = 161,60 kg/m^3

Untuk pipa yang terbuat dari *stainless steel*:

Di_{opt} $= 226 \times W^{0,5} \times \rho^{-0,35}$

$= 226 \times 0{,}58^{0,5} \times 161{,}60^{-0,35}$

$= 29{,}002\ mm \approx 1{,}14\ in$

Digunakan:

NPS = 1,5 in

Sch = 40

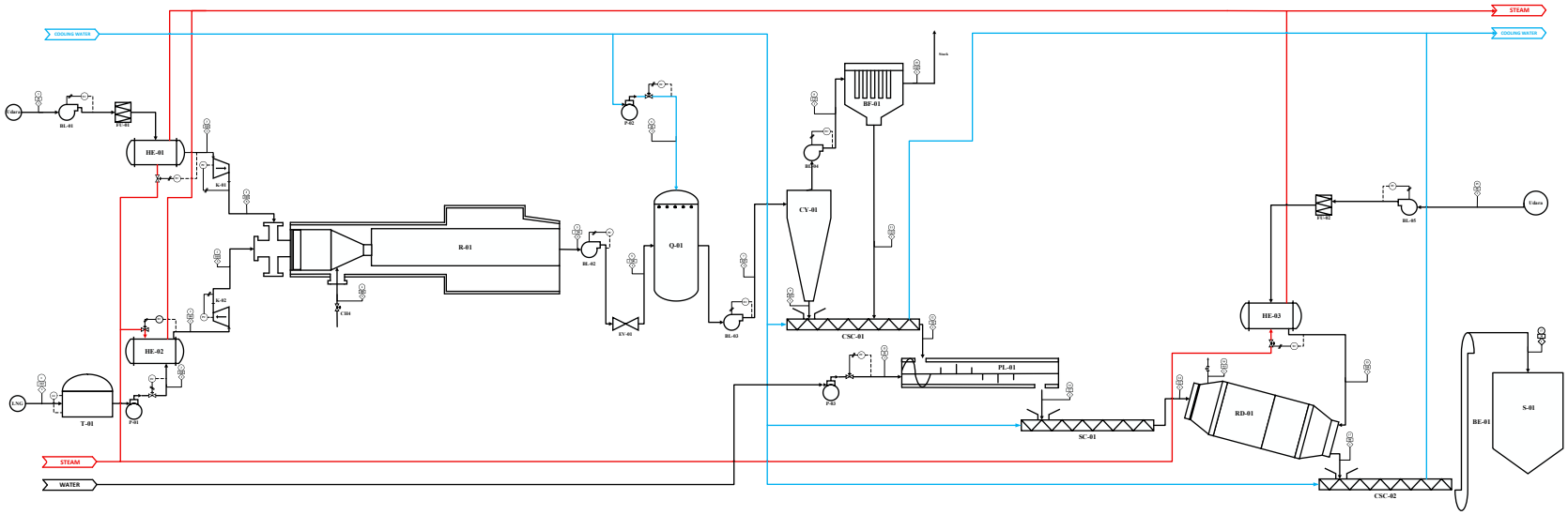
ID = 1,61 in

OD = 1,9 in

LAMPIRAN B

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK* DARI GAS ALAM
KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN



Komponen		Arus (Kg/Jam)																
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17
Metana	CH_4	20.837,50	8.335,00	-	12.502,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etana	C_2H_6	1.301,88	1.301,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Propana	C_3H_8	732,62	732,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
iso-Butana	$i\text{-}C_4H_{10}$	136,13	136,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
normal-Butana	$n\text{-}C_4H_{10}$	158,4	158,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
iso-Pentana	$i\text{-}C_5H_{12}$	56,93	56,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
normal-Pentana	$n\text{-}C_5H_{12}$	39,60	39,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heksana	C_6H_{14}	89,10	89,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Karbondioksida	CO_2	1.386,03	1.386,03	-	-	31.786,20	-	31.786,20	31.786,20	-	31.786,20	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogen	N_2	12,38	12,38	152.831,64	-	152.844,02	-	152.844,02	152.844,02	-	152.844,02	-	-	-	-	46.307,31	46.307,31	-
Oksigen	O_2	-	-	94.628,80	-	52.049,97	-	52.049,97	52.049,97	-	52.049,97	-	-	-	-	12.417,40	12.417,40	-
Argon	Ar	-	-	2.712,01	-	2.712,01	-	2.712,01	2.712,01	-	2.712,01	-	-	-	-	575,21	575,21	-
Air	H_2O	-	-	-	-	23.028,33	399.327,52	422.355,85	422.355,85	-	422.355,85	-	-	9.375,94	9.375,94	-	9.282,18	93,76
Karbon Hitam	C	-	-	-	-	9.376,88	-	9.376,88	93,77	9.283,11	0,94	92,83	9.375,94	-	9.375,94	-	-	9.375,94
Hidrogen	H_2	-	-	-	-	3.125,63	-	3.125,63	3.125,63	-	3.125,63	-	-	-	-	-	-	-
SUBTOTAL		**24.750,57**	**12.248,06**	**250.172,46**	**12.502,50**	**274.923,02**	**399.327,52**	**674.250,54**	**664.967,43**	**9.283,11**	**664.874,60**	**92,83**	**9.375,94**	**9.375,94**	**18.751,88**	**59.299,92**	**68.582,10**	**9.469,70**

R	Reaktor		Nomor Arus	FC	*Flow Control*
Q	*Quencher*		Tekanan	TC	*Temperature Control*
CY	*Cyclone*		Suhu	PC	*Pressure Control*
BF	*Bag Filter*		Arus Proses	LI	*Level Indicator*
PL	*Pelletizer*		*Control Valve*		
RD	*Rotary Dryer*		Sinyal *Pneumatic*		
T	Tangki				
S	Silo				
BL	*Blower*				
FU	Filter Udara				
P	Pompa				
EV	*Expansion Valve*				
CSC	*Cooling Screw Conveyor*				
SC	*Screw Conveyor*				
BE	*Bucket Elevator*				
K	Kompressor				
HE	*HEAT EXCHANGER*				

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA RANCANGAN PABRIK *CARBON BLACK* DARI GAS ALAM
KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
Marciello Agisto Pramudya 22521031
Ghea Febriani Sanova 22521083

Dosen Pembimbing :
Dr. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Marciello Agisto Pramudya

NIM : 22521031

Nama Mahasiswa 2 : Ghea Febriani Sanova

NIM : 22521083

Semester/Tahun Akademik : 8/2025/2026

Nama Dosen Pembimbing : Dr. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng.

No.	Tanggal	Konsultasi	Paraf Dosen
1.	12 Oktober 2025	Penentuan kapasitas pabrik	
2.	31 Oktober 2025	Pemilihan proses	
3.	19 November 2025	Kinetika dan termodinamika	
4.	3 Desember 2025	Diagram alir	
5.	14 Januari 2026	Reaktor	
6.	20 Januari 2026	Reaktor dan alat besar	
7.	12 Maret 2026	Alat besar	
8.	10 April 2026	Alat kecil	
9.	24 April 2026	Utilitas	
10.	13 Mei 2026	Utilitas dan evaluasi ekonomi	