PRA RANCANGAN PABRIK FOSGEN DARI KARBON MONOKSIDA DAN KLORIN DENGAN KAPASITAS 34.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia

Disusun oleh:

Nama : Izdihar Nabiqhah
NIM : 22521022

Nama : Sri Wulan Sumitra
NIM : 22521027

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

PRA RANCANGAN PABRIK FOSGEN DARI KARBON MONOKSIDA DAN KLORIN DENGAN KAPASITAS 36.000 TON.TAHUN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Izdihar Nabiqhah	Nama : Sri Wulan Sumitra
NIM : 22521027	NIM : 22521022

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Menyatakan bahwa seluruh Prarancangan pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila dikemudain hari terbukti bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka kami siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini kami buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Izdihar Nabiqhah

Sri Wulan Sumitra

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK FOSGEN DARI KARBON MONOKSIDA DAN KLORIN DENGAN KAPASITAS 34.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Izdihar Nabiqhah

NIM : 22521022

Nama : Sri Wulan Sumitra

NIM : 22521027

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Pembimbing

Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIK. 155210506

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK FOSGEN DARI KARBON MONOKSIDA DAN KLORIN DENGAN KAPASITAS 34.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Izdihar Nabiqhah **Nama : Sri Wulan Sumitra**

NIM : 22521022 **NIM : 22521027**

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, 29 Juni 2026

TimPenguji

Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D.
Ketua

Cholila Tamzysi, S.T., M.Eng., Ph.D.
Anggota I — 7/7/26

Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng.
Anggota II — 1/7/26

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.
NIP. 99520045

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat serta hidayat-Nya. Shalawat dan salam juga tidak lupa kami hanturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Atas segala karunia tersebut, penulis dapat menyelesaikan penyusuan Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Prarancangan Pabrik Fosgen dari Karbon Monoksida dan Klorin Kapasitas 34.000 Ton/Tahun" dengan baik. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Penyusunan Tugas Akhir ini penulis menerima banyak bantuan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.

5. Bapak Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen Pembimbing yang dengan sabar telah membimbing dan mendukung kami, selalu memberikan semangat, arahan, dan motivasi kepada kami selama penyusunan Laporan Tugas Akhir.
7. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Angkatan 2022 yang telah mendukung,berbagi ilmu, dan membantu kelancaran Tugas Akhir ini, semangat teman-teman, perjuangan kita masih panjang.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Maka dari itu, kritik dan saran membangun sangat kami harapkan demi kebaikan dan kesempurnaan laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 20 Maret 2026

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, kesehatan, serta kemudahan yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu. *Alhamdulillahirabbilalamin*.

Perjalanan panjang dan melelahkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak akan bisa saya lewati sendirinya dengan begitu mudah tanpa adanya kehadiran dan uluran tangan dari banyak pribadi dan hati baik di sekitar saya. Oleh karena itu, dengan segala rasa syukur saya persembahkan Tugas Akhir saya ini kepada:

1. Surgaku, Mama Sri Mulyati, mama terbaik di dunia, mama saya tercinta. Terima kasih atas segala doa baik yang selalu mama panjatkan siang malam untuk anak perempuanmu ini. Doa yang mama langitkan setiap saat, doa yang mama perjuangkan di sepertiga malam setiap harinya itu adalah doa yang selalu menjadi pelindung dan penguat dalam setiap perjuangan, kelelahan dari putri kecilmu ini. Tanpa doa mama, saya tidak akan bisa berdiri di atas kaki saya sendiri saat ini serta dengan lancar dan mudah menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sehat selalu Mama, tolong hidup lebih lama lagi dengan keberkahan dan kebahagiaan yang insyaAllah akan selalu aku usahakan untukmu itu.
2. Cinta pertamaku, Papa Fajeri, papa terbaik di dunia, laki-laki terhebat dalam hidup saya. Terima kasih atas segala doa baik dan kerja keras siang malam yang tanpa pamrih selalu diperjuangkan untuk seluruh keluarga ini. Terima kasih karena selalu menjadi sahabat sekaligus motivator hidup terbaik yang pernah

ada, karena dengan kehadiran dan dukungan Papa, anak perempuan yang lemah ini bisa tumbuh dengan kuat dan hebat sekarang. Tugas Akhir ini menjadi salah satu bukti atas segala kerja keras yang Papa lakukan untukku berbuah hasil baik, sekaligus menjadi langkah awal bagi saya untuk terus berlari mengejar mimpi saya untuk membanggakanmu. Sehat selalu Papa, tolong hidup lebih lama lagi dengan keberkahan dan kebahagiaan yang insyaAllah akan selalu aku usahakan untukmu itu.

3. Saudara kandung saya, Zalfa Nur Fadhilah dan Dzakiyya Talita Sakhi. Yang senantiasa menjadi pelengkap dinamika dalam hidup saya. Dibalik segala kekeraskepalaan dan tingkah laku yang menguji kesabaran, kalian adalah sosok yang mengajari saya banyak hal tentang arti menerima dan menyayangi. Sebagai seorang kakak, kalian adalah Amanah yang selalu saya jaga. Kehadiranmu adalah motivasi tersendiri dalam setiap langkah perjuangan ini, termasuk dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. dosen pembimbing akademik dan Tugas Akhir saya dan partner. Terima kasih atas segala dukungan, ilmu, kesabaran, dan kebaikan ibu dalam membimbing menyelesaikan Tugas Akhir ini. InsyaAllah seluruh ilmu yang ibu berikan akan menjadi keberkahan bagi ibu dan kami.
5. Sahabat Saya, Restuna Nur Inten. Seseorang yang sudah menjadi bagian hidup saya selama 16 tahun. Terima kasih sudah hadir dan menjadi salah satu orang yang menemani perjalanan pendewasaan saya hingga saat ini. Banyak kenangan, cerita, dan pengalaman yang sudah kita lalui bersama selama

bertahun-tahun. Terima kasih atas setiap dukungan, perhatian, dan waktu yang selalu kamu berikan di tengah kesibukan masing-masing. Kehadiranmu menjadi salah satu hal yang membuat setiap proses terasa lebih ringan untuk dijalani. Semoga persahabatan yang sudah terjalin selama ini tetap bertahan, penuh cerita baik, dan selalu menjadi tempat pulang di setiap fase kehidupan.

6. Sahabat saya, Salsabila Aprizya Mustopa. Terima kasih sudah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya selama 10 tahun ini. Dari masa kecil hingga sekarang, banyak cerita, tawa, dan proses kehidupan yang sudah kita lewati bersama. Terima kasih karena selalu hadir dan menjadi sahabat yang tulus sampai hari ini. Semoga persahabatan kita selalu terjaga dan tidak berubah oleh waktu maupun keadaan.
7. Kedua sahabat saya, Bebi Kurnia Putri dan Shalma Aninda Fiera. Terima kasih atas persahabatan, dukungan, dan kehadiran kalian selama ini. Kalian telah menjadi bagian dari banyak cerita, tawa, air mata, dan proses pendewasaan dalam hidup saya. Meski tidak selalu bersama, hubungan dan dukungan dari kalian tetap terasa sampai saat ini. Terima kasih untuk setiap kenangan dan perjalanan yang sudah kita lewati bersama. Semoga persahabatan ini selalu terjaga selamanya.
8. Untuk teman kos sekaligus teman pertama saya di Jogja Kak Beby dan Kak Nayla. Terima kasih sudah banyak membantu, memberikan arahan, dan mengenalkan indahnya Jogja selama awal masa perkuliahan. Kehadiran kalian membuat saya merasa lebih nyaman dan tidak sendirian jauh dari rumah.

Terima kasih untuk setiap bantuan, cerita, dan kebersamaan yang sangat berarti selama ini.

9. Kepada sahabat saya (Slayer Hitam), terima kasih sudah menjadi bagian penting dalam perjalanan saya selama di Jogja. Kehadiran kalian bukan hanya sebagai teman, tetapi juga tempat berbagi cerita, dukungan, dan berbagai pengalaman selama masa perkuliahan. Terima kasih karena selalu memberikan kenyamanan, kehangatan, dan kebersamaan hingga banyak proses terasa lebih mudah dijalani. Bagi saya, kalian sudah seperti keluarga sendiri yang selalu ada di saat senang maupun sulit. Semoga persahabatan ini tetap terjaga dan semua hal baik selalu menyertai langkah kalian ke depannya.
10. Untuk teman-teman seperjuangan saya selama masa perkuliahan (WadonNgalur dan Kontrakan Hhanjay), terima kasih sudah menjadi bagian dari cerita dan proses pendewasaan saya selama berada di Jogja. Kehadiran kalian membawa begitu banyak pengalaman, pelajaran, dan kenangan yang tidak akan mudah dilupakan. Di tengah tugas, tekanan, dan berbagai proses selama kuliah, Terima kasih untuk setiap waktu yang sudah dilewati bersama, mulai dari hal-hal sederhana, perjalanan singkat, obrolan tanpa arah, sampai dukungan di masa-masa sulit yang membuat semuanya terasa lebih ringan untuk dijalani. Semoga pertemanan ini tetap terjaga dengan baik dan setiap langkah kalian ke depan selalu dipenuhi kebahagiaan dan hal-hal baik.
11. Sri Wulan Sumitra, terima kasih sudah menjadi partner terbaik yang menemani perjalanan panjang saya sejak Kerja Praktik, Penelitian, hingga Tugas Akhir. Terima kasih karena selalu hadir sebagai teman berbagi cerita, pendengar,

sekaligus penyemangat di setiap proses yang penuh lelah, tekanan, dan air mata. Banyak hal sudah kita lewati bersama, mulai dari rasa takut, bingung, hingga akhirnya mampu menyelesaikan semuanya sampai di titik ini. Terima kasih atas kesabaran, dukungan, dan semangat yang selalu kamu berikan selama ini. Senang dan bersyukur bisa belajar, berjuang, dan bertumbuh bersama denganmu. Semoga langkahmu ke depan selalu dipenuhi kebahagiaan, keberkahan, dan kesuksesan di mana pun kamu berada.

12. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang pernah hadir dan menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan saya. Terima kasih atas setiap pengalaman, dukungan, dan pelajaran hidup yang telah diberikan selama proses ini. Semua hal tersebut menjadi bagian dari perjalanan saya untuk terus belajar, bertumbuh, dan menjadi pribadi yang lebih baik dari sebelumnya.
13. Kepada seorang pria yang sosoknya belum diketahui namanya, tetapi sudah tertulis rapih di *lauhul mahfuz* dan tidak pernah luput dari setiap doa. Terima kasih karena, bahkan sebelum hadir dalam hidup saya, keberadaanmu sudah menjadi salah satu alasan saya tetap semangat menjalani dan memperjuangkan hidup ini. Semoga kamu selalu berada dalam lindungan dan ridho Allah SWT. Semoga kita sama-sama terus bertumbuh, memperbaiki diri, dan dipertemukan di waktu serta versi terbaik menurut-Nya.
14. Terakhir, dan yang paling utama, untuk diri saya sendiri. Terima kasih sudah bertahan dan terus berusaha menjadi perempuan yang selalu mengupayakan hal-hal baik untuk diri sendiri maupun orang lain. Semua lelah, air mata, perjuangan siang dan malam, serta proses panjang yang sudah dilewati menjadi

bagian yang membentuk saya hingga mampu berada di titik ini. Terima kasih karena tidak menyerah dan tetap kuat menjalani setiap proses kehidupan. Tetap semangat mengejar mimpi, melangitkan doa-doa baik, dan terus bertumbuh menjadi perempuan hebat yang selama ini diimpikan

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan kesehatan, kelancaran, dan kemudahan yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktunya.

Perjalanan hingga sampai pada tahap ini tentu tidak lepas dari peran orang-orang luar biasa yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat dalam setiap proses yang saya jalani. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur dan terima kasih, saya persembahkan lembar ini kepadda:

1. Kepada Papa saya, Iwan Sumitra Terima kasih karena telah memberikan kasih sayang, perhatian serta sudah berjuang dan mengusahakan segalanya demi penulis. Semua kerja keras, pengorbanan, dan dukungan papa menjadi alasan penulis bisa terus melangkah sampai sejauh ini. Penulis tahu tidak semua lelah papa pernah diceritakan, tapi penulis selalu mengerti bahwa papa selalu memberikan yang terbaik untuk penulis. Semoga Tugas Akhir ini bisa menjadi sedikit kebanggaan untuk papa atas semua perjuangan yang telah diberikan untuk penulis.
2. Kepada mama saya, Indra Lesmana Terima kasih karena selalu ada untuk penulis dalam keadaan apa pun. Terima kasih sudah selalu menghibur penulis ketika lelah, mendengarkan cerita penulis, dan memberi semangat saat penulis merasa ingin menyerah. Doa, kasih sayang, dan perhatian mama

menjadi alasan penulis bisa sampai di titik ini. Semoga hal kecil ini bisa menjadi salah satu bentuk rasa terima kasih dan kebanggaan untuk mama.

3. Kepada keluarga besar saya, yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas dukungan dan perhatiannya selama ini. Semoga tugas akhir ini menjadi salah satu kebanggan untuk kalian.
4. Kepada ibu Ifa Puspasari S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir saya. Terima kasih atas dukungan, motivasi, dan bimbingan yang senantiasa Ibu berikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas kesabaran Ibu dalam membimbing serta ketersediaan Ibu dalam meluangkan waktu di tengah kesibukan yang padat. Tanpa bimbingan Ibu, saya mungkin tidak akan berhasil menyelesaikan tugas ini. Semoga Allah memberikan berkah, kesehatan, kebahagiaan, dan kesuksesan kepada Ibu selalu. *Aamiin*
5. Kepada sahabat saya Safira Aulia Azhari, Terima kasih karena selalu ada, selalu mendukung, membantu, dan perhatian kepada penulis dalam setiap proses yang penulis jalani. Terima kasih sudah menjadi tempat bercerita, memberi semangat saat penuli lelah, dan menemani di saat-saat sulit maupun bahagia. Kehadiranmu menjadi salah satu alasan penulis bisa bertahan dan menyelesaikan semuanya sampai di titik ini. Semoga persahabatan kita selalu tetap baik dan penuh cerita indah ke depannya.
6. Kepada sahabat-sahabat saya masa SMA, Annisa Farah Nabila, Yusticia Jasmine, Ketrina Novebriyanti, dan Brantas Satria Adikara yang walaupun kini jarang berinteraksi karena kesibukan masing-masing, tetapi masih

selalu memberikan dukungan, semangat, serta celotehan sederhana yang mampu menghibur penulis di tengah proses penyusunan Tugas Akhir ini. Kehadiran dan perhatian kecil dari kalian menjadi salah satu penyemangat bagi penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan semuanya hingga akhir.

7. Kepada Teman-Teman Teknik Kimia 22 dan Wadon Ngalur yang telah setia menemani selama empat tahun perjalanan perkuliahan ini. Terima kasih karena tetap hadir di tengah lelah, membantu tanpa diminta, dan menghibur lewat tawa serta celotehan sederhana yang selalu berhasil menguatkan penulis. Di balik kerasnya proses yang dijalani, kalian menjadi salah satu alasan penulis mampu bertahan sampai sejauh ini. Terima kasih karena sudah menjadi rumah, tempat pulang, dan bagian paling hangat dari perjalanan ini.
8. Kepada sahabat saya sekaligus *partner*, Izdihar Nabiqhah yang telah menemani sejak awal menjadi mahasiswa baru hingga sampai di titik ini. Terima kasih karena selalu berjalan bersama dalam setiap proses, melewati segala rintangan, tekanan, dan hambatan tanpa pernah meninggalkan satu sama lain. Dari magang bersama, penelitian bersama, hingga melewati suka dan duka selama perkuliahan, semuanya menjadi perjalanan yang tidak akan pernah penulis lupakan. Terima kasih karena selalu bertahan menghadapi sifat penulis, tetap mendukung, mendengarkan, dan menjadi tempat berbagi di setiap keadaan. Jika perjalanan ini terasa berat, kehadiranmu adalah salah satu alasan mengapa semuanya terasa lebih kuat untuk dijalani.

9. Terakhir, untuk diri saya sendiri Sri Wulan Sumitra, Terima Kasih telah mampu bertahan sampai di titik ini. Terima kasih karena tidak menyerah meskipun banyak hal terasa berat untuk dijalani. Terima kasih sudah tetap kuat, tetap mencoba, dan tetap melangkah walaupun sering merasa lelah. Semua proses, air mata, tekanan, dan perjuangan yang telah dilewati akhirnya membawa penulis sampai sejauh ini. Terima kasih karena sudah bertahan, karena ternyata diri ini lebih kuat dari yang pernah dibayangkan.

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Produksi Fosgen di Dunia 4
Tabel 1.2 Perbandingan Proses Fosgen 10
Tabel 1.3 Data ΔH^{o}_{F} dan pada 298K ΔG^{o}_{F} 14
Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk 20
Tabel 2.2 Analisa Resiko Proses Karbon Monoksida 24
Tabel 2.3 Analisa Resiko Proses Klorin 26
Tabel 2.4 Analisa Risiko Proses Fosgen 27
Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor 34
Tabel 3.2 Spesifikasi Condensor Parsial 36
Tabel 3.3 Spesifikasi Separator 38
Tabel 3.4 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Produk 39
Tabel 3.5 Tangki Penyimpanan Bahan Baku 40
Tabel 3.6 Spesifikasi *Expansion Valve* 41
Tabel 3.7 Spesifikasi Kompresor 42
Tabel 3.8 Spesifikasi Pompa 43
Tabel 3.9 Spesifikasi *Heat Exchanger* 43
Tabel 3.10 Neraca Massa *Fixed Bed Multitube* 46
Tabel 3.11 Neraca Massa Condensor Parsial (CDP-01) 46
Tabel 3.12 Neraca Massa Separator (SP-01) 47
Tabel 3.13 Neraca Massa Condensor Parsial (CDP-02) 47
Tabel 3.14 Neraca Massa Separator (SP-01) 48
Tabel 3.15 Neraca Panas Reaktor 48
Tabel 3.16 Neraca Panas *Heater* (HE-01) 49
Tabel 3.17 Neraca Panas *Heater* (HE-02) 49
Tabel 3.18 Neraca Panas Condensor Parsial (CDP-01) 49
Tabel 3.19 Neraca Panas Condensor Parsial (CDP-02) 50
Tabel 3.20 Neraca Panas *Expansion Valve* (EV-01) 50
Tabel 3.21 Neraca Panas *Expansion Valve* (EV-02) 51
Tabel 4.1 Perincian Luas tanah dan bangunan pabrik 63
Tabel 4.2 Jam Kerja Karyawan *Non-Shift* 85
Tabel 4.3 Jam Kerja Karyawan *Shift* 86
Tabel 4.4 Jadwal Kerja Karyawan *Shift* 87
Tabel 4.5 Lanjutan Jadwal Kerja Karyawan *Shift* 87
Tabel 4.6 Rincian Gaji Karyawan 88
Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin 98
Tabel 5.2 Kebutuhan *Steam* 99
Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik Alat Proses 105
Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas 105
Tabel 5.5 Total Kebutuhan Listrik Pabrik Fosgen 107
Tabel 5.6 Spesifikasi Pompa Utilitas 110

Tabel 5.7 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 111
Tabel 5.8 Spesifikasi Tangki Utilitas.....113
Tabel 5.9 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas 114
Tabel 5.11 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas.....115
Tabel 5.12 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas 116
Tabel 5.13 Spesifikasi Bak Utilitas 116
Tabel 5.14 Spesifikasi *Clarifier* 117
Tabel 5.15 Spesifikasi *Cooling Tower*.....117
Tabel 5.16 Spesifikasi *Cooling Tower*.....118
Tabel 5.17 Spesifikasi *Sand Filter* 118
Tabel 6.1 Data Grafik Hubungan antara tahun dan indeks harga alat..... 120
Tabel 6.2. Harga Alat Proses 122
Tabel 6.3. Harga Alat Utilitas..... 123
Tabel 6.4. *Phsysical Plant Cost* (PPC)..... 125
Tabel 6.5. *Direct Plant Cost* (DPC) 125
Tabel 6.6. *Fixed Capital Invesment* (FCI)..... 125
Tabel 6.7. *Working Capital Investment* (WCI)..... 126
Tabel 6.8. *Direct Manufacturing Cost* (DMC)..... 126
Tabel 6.9. *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)..... 127
Tabel 6.10. *Fixed Manufacturing Cost* (FMC) 127
Tabel 6.11. *General Expense* (GE)..... 128
Tabel 6.12. Total *Production Cost* (TPC)..... 128
Tabel 6.13. *Annual Fixed Manufacturing Cost* (Fa) 131
Tabel 6.14. *Annual Regulated Expenses* 131
Tabel 6.15. *Annual Variabel Cost* 132
Tabel 6.16. *Annual Sales Value* (Sa) 132
Tabel 6.17. Analisis Risiko Pabrik 134
Tabel 6.18. Analisis Kelayakan..... 136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif 29
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif 30
Gambar 4.1 Lokasi Cilegon, Banten 53
Gambar 4.2 Lokasi didirikan Pabrik Fosgen..... 53
Gambar 4.3 Tata Letak Pabrik..... 64
Gambar 4.4 Tata Letak Pabrik..... 68
Gambar 5.5 Struktur Organisasi..... 74
Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas..... 95
Gambar 6.1 Grafik Indeks Harga 122
Gambar 6.2 Grafik Kelayakan 137

DAFTAR
LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	:	*Temperature*, ˚C
D	:	Diameter, m
H	:	Tinggi, m
P	:	Tekanan, psia
μ	:	Viskositas, cP
ρ	:	Densitas, kg/m^3
Q	:	Kebutuhan Kalor, kJ/Jam
A	:	Luas Penampang, m^2
V	:	Volume, m^3
t	:	Waktu, jam
M	:	Massa, Kg
Fv	:	Laju Volumetrik, m^3
R	:	Jari- jari, in
P	:	*Power motor*, Hp
ts	:	Tebal *shell*, in
ΔP	:	*Presure drop*, psia
ID	:	*Inside* diameter, in
OD	:	*Outside* diameter, in
Th	:	Tebal *head*, in

Re	:	Bilangan Reynold
f	:	*Allowable stress*, psia
icr	:	Jari-jari sudut dalam, in
L	:	Lebar pengaduk, m
N	:	Kecepatan putaran, rpm
UD	:	Koefisien perpindahan panas *overall* HE, Btu/jam ft^2 ^oF
UC	:	Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada awal HE dipakai, Btu/jam ft^2 ^oF
P	:	Panjang, m
l	:	Lebar, m
x	:	Konversi, %
E	:	Efisiensi sambungan
K	:	Konduktivitas termal, Btu/jam ft^2 ^oF
k	:	Konstanta kinetika reaksi
R	:	Tatapan konstan gas
Fv	:	Laju alir, m^3/jam
Sg	:	*Specific gravity*
LMTD	:	*Long Mean Temperature Different*, ^oF

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iii
KATA PENGANTAR iv
LEMBAR PERSEMBAHAN vi
LEMBAR PERSEMBAHAN xii
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR GAMBAR xviii
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN xix
DAFTAR ISI xxi
ABSTRAK xxv
ABSTRACT xxvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik 1
1.1.2 Ketersediaan Bahan Baku 3
1.2 Penentuan Kapasitas 4
1.3 Tinjauan Pustaka 7
1.3.1 Macam-macam Proses 7
1.3.2 Pemilihan Proses 10
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika 14
1.4.1 Tinjauan Termodinamika 14
1.4.2 Tinjauan Kinetika 17
BAB II PERANCANGAN PRODUK 19
2.1 Spesifikasi Produk 19
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung 19
2.2.1 Karbon Monoksida 19
2.2.2 Klorin 20
2.3 Pengendalian Kualitas 21

2.4 Analisa Risiko Proses 24
BAB III PERANCANGAN PROSES 29
3.1 Diagram Alir Proses dan Material 29
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif 29
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif 30
3.2 Uraian Proses 31
3.2.1 Proses Persiapan Bahan Baku dan Bahan Pendukung 31
3.2.2 Proses Produksi 32
3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk 33
3.2.4 Tahap Penyimpanan 34
3.3 Spesifikasi Alat 34
3.3.1 Spesifikasi Alat Proses 34
3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung 36
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan dan Produk 39
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi 41
3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas 43
3.4 Neraca Massa 45
3.5 Neraca Panas 48
3.5.1 Neraca Panas Alat 48
BAB IV PERANCANGAN PABRIK 52
4.1 Penentuan Lokasi 52
4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik 52
4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik 56
4.2 Tata letak pabrik 57
4.3 Tata Letak Mesin/ Alat Proses (*Machines Layout*) 64
4.4 Organisasi Perusahaan 68
4.4.1 Bentuk Perusahaan 68
4.4.2 Struktur Organisasi 71
4.4.3 Tugas dan Wewenang 74
4.4.4 Pengaturan Jam Kerja 84
4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji 88
4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan 90

BAB V UTILITAS 94
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air 97
5.1.1 Unit Penyediaan Air 97
5.1.2 Unit Pengolahan Air 99
5.2 Unit Pembangkit *Steam* 103
5.3 Unit Pembangkit Listrik 105
5.4 Unit Penyediaa Udara Tekan 107
5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar 108
5.6 Unit Pengolahan Limbah 108
5.7 Spesifikasi Unit Utilitas 110
5.7.1 Pompa Utilitas 110
5.7.2 Tangki 113
5.7.3 Bak 116
5.7.4 *Clarifier* 117
5.7.5 *Cooling* 117
5.7.6 *Sand Filter* 118
BAB VI EVALUASI EKONOMI 119
6.1 Penaksiran Harga Alat 120
6.2 Dasar Perhitungan 124
6.3 Komponen Biaya 124
6.3.1 Modal (*Capital Invesment*) 124
6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*) 126
6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*) 128
6.4 Analisa Keuntungan 128
6.5 Analisa Kelayakan 129
6.6 Analisa Resiko Pabrik 134
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN 138
7.1 Kesimpulan 138
7.2 Saran 139
DAFTAR PUSTAKA 140
LAMPIRAN A PERANCANGAN REAKTOR 142
LAMPIRAN B PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM 166

LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN 168

ABSTRAK

Fosgen ($COCl_2$) merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku utama dalam industri isosianat, poliuretan, polikarbonat, obat-obatan, dan pestisida. Kebutuhan fosgen di Indonesia yang masih bergantung pada impor mendorong pentingnya pendirian pabrik fosgen dalam negeri untuk memenuhi kebutuhan industri nasional, mengurangi impor, serta mendukung pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, dirancang pabrik fosgen dengan kapasitas 34.000 ton per tahun menggunakan bahan baku karbon monoksida (CO) dan klorin (Cl_2) melalui proses pengontakan langsung. Kebutuhan karbon monoksida sebesar 11.442,47 ton/tahun diperoleh dari PT. Samator Indonesia yang memiliki kapasitas produksi 290.000 ton/tahun, sedangkan kebutuhan klorin sebesar 26.332,44 ton/tahun diperoleh dari PT. Asahimas Chemical dengan kapasitas produksi 612.500 ton/tahun. Pabrik direncanakan berlokasi di Bojonegara, Banten, dengan luas area sekitar 25.000 m^2 dan kebutuhan tenaga kerja sebanyak 140 orang. Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi, pabrik ini dinilai layak untuk dibangun dengan nilai ROI sebesar 20% sebelum pajak dan 15% setelah pajak, POT sebesar 3,5 tahun sebelum pajak dan 4,3 tahun setelah pajak, BEP sebesar 51%, SDP sebesar 20%, serta DCFR sebesar 20%. Selain itu, analisis risiko menunjukkan bahwa kondisi operasi yang dirancang masih berada pada tingkat risiko yang dapat dikendalikan dengan penerapan sistem keselamatan proses yang memadai.

Kata kunci: Fosgen, Karbon Monoksida, Klorin, proses pengontakan langsung,

ABSTRACT

Phosgene ($COCl_2$) is a chemical used as the main raw material in the isocyanate, polyurethane, polycarbonate, pharmaceutical, and pesticide industries. Indonesia's reliance on imports for phosgene necessitates the establishment of a domestic phosgene plant to meet national industrial needs, reduce imports, and support economic growth. Therefore, a phosgene plant with a capacity of 34,000 tons per year is designed using carbon monoxide (CO) and chlorine (Cl_2) as raw materials through a direct contact process. The carbon monoxide requirement of 11,442.47 tons/year is obtained from PT. Samator Indonesia, which has a production capacity of 290,000 tons/year, while the chlorine requirement of 26,332.44 tons/year is obtained from PT. Asahimas Chemical, with a production capacity of 612,500 tons/year. The plant is planned to be located in Bojonegara, Banten, with an area of approximately 25,000 m^2 and a workforce requirement of 140 people. Based on the results of the economic evaluation, this plant is considered feasible to be built with an ROI of 20% before tax and 15% after tax, a POT of 3,5 years before tax and 4,3 years after tax, a BEP of 51%, a SDP of 20%, and a DCFRR of 20%. In addition, the risk analysis shows that the designed operating conditions are still at a risk level that can be controlled by implementing an adequate process safety system.

Keywords: Phosgene, Carbon Monoxide, Chlorine, direct contact process,

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Industri kimia merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam mendukung perkembangan berbagai industri hilir, seperti industri farmasi, pestisida, polimer, dan plastik. Salah satu bahan kimia yang memiliki peranan penting dalam industri kimia lanjutan adalah fosgen ($COCl_2$). Fosgen digunakan secara luas sebagai bahan baku utama dalam produksi *isocyanate*, yang kemudian menjadi komponen penting dalam pembuatan *poliuretan*, plastik teknik, pelapis, dan busa sintetis. Selain itu, fosgen juga digunakan dalam sintesis *carbonyl chloride* derivatif dan berbagai intermediate organik lainnya.

Perkembangan industri kimia bergantung pada bahan baku dan bahan penunjang produksinya. Hal tersebut merupakan permasalahan yang berkembang pada industri kimia di negeri ini. Bahan baku dan bahan penunjang produksi industri kimia di Indonesia masih diperoleh dari negara lain. Kegiatan impor tersebut sangat disayangkan, mengingat biaya impor dihitung dalam kurs Dollar yang akhir-akhir ini sangat meningkat.

Fosgen adalah gas tak berwarna pada suhu dan tekanan ruangan. Baunya telah dideskripsikan mirip dengan jerami yang baru. Namun, bau

yang ringan ini dan sifat iritan akutnya yang lemah belum memberikan indikasi yang jelas tentang keberadaannya. Fosgen memiliki rumus kimia $COCl_2$ dan di buat pertama kali oleh J. Davy pada tahun 1812 dan digunakan sebagai agen perang kimia dalam Perang Dunia I. Fosgen diproduksi dari reaksi karbon monoksida dan gas klorin dengan adanya arang aktif. Fosgen digunakan dalam pembuatan isosianat, polikarbonat, pestisida, pewarna, dan farmasi. Pembuatan fosgen di Amerika Serikat hampir seluruhnya bersifat *captive* karena lebih dari 99% digunakan dalam pembuatan bahan kimia lain dalam batas pabrik.(US EPA, 2003)

Sejak Perang Dunia II, fosgen telah memperoleh peran penting dalam industri kimia sebagai zat perantara kimia reaktif dan digunakan untuk membantu memasok gugus klorin ke produk reaksi dalam reaksi fosgenasi (Babad dan Zeiler, 1973). Penggunaan utama fosgen adalah dalam industri poliuretan, yang mengkonsumsi lebih dari 85% produksi fosgen dunia. Industri polikarbonat menyumbang sekitar 10% dari fosgen yang digunakan, dan 10% sisanya digunakan dalam produksi diisosianat alifatik, monoisosianat, kloroformat, agrokimia, dan zat perantara untuk pewarna dan farmasi (NAS/NRC *Board on Environmental Studies and Toxicology*, 1984). Perkiraan konsumsi tahunan fosgen di seluruh dunia berkisar antara 5 hingga 10 juta ton, dengan produksi AS saja sekitar 1 juta ton (Bast dan Bress, 2002).

Perkiraan produksi sulit diperoleh karena sintesis fosgen hampir seluruhnya dilakukan di dalam negeri, artinya lebih dari 99% digunakan dalam pembuatan bahan kimia lain di dalam batas pabrik. Di Amerika Serikat, hal ini berlaku untuk sebagian besar produksi fosgen (Cotarca dan Eckert, 2004); dan hanya satu perusahaan yang menjual fosgen di pasar komersial.

Dilihat dari kegunaan fosgen yang cukup banyak, maka akan lebih menguntungkan bagi bangsa Indonesia untuk memproduksi fosgen sendiri daripada mengimpor dari negara lain. Untuk itu pabrik fosgen ini akan menjalin.

1.1.2 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada pabrik fosgen yaitu karbon monoksida dan klorin. Bahan baku karbon monoksida diperoleh dari PT. Samator Indonesia yang berlokasi di Cilegon, Banten dengan kapasitas produksi sebesar 290.000 ton/tahun. Kebutuhan karbon monoksida pada pabrik yang dirancang adalah sebesar 11.442,47 ton/tahun, sehingga kapasitas produksi PT. Samator Indonesia mampu memenuhi kebutuhan bahan baku tersebut. Sementara itu, bahan baku klorin diperoleh dari PT. Asahimas *Chemical* yang juga berlokasi di Cilegon, Banten dengan kapasitas produksi sebesar 612.500 ton/tahun. Kebutuhan klorin pada pabrik yang dirancang adalah sebesar 26.332,44 ton/tahun, sehingga kapasitas produksi PT. Asahimas Chemical juga mampu memenuhi kebutuhan bahan baku klorin yang diperlukan.

1.2 Penentuan Kapasitas

Dalam penentuan kapasitas pabrik dapat ditinjau dari data-data seperti data konsumsi dalam negeri, ekspor-impor, produksi, ketersediaan bahan baku di Indonesia dan juga kapasitas pabrik yang sudah ada di seluruh dunia. Adapun beberapa negara- negara yang memproduksi fosgen seperti di Amerika Serikat. Sedangkan untuk produksi fosgen di dalam negeri belum tersedia.

Pada saat ini, fosgen lebih banyak digunakan pada industri polimer, farmasi, pestisida, dan industri tekstil. fosgen banyak diproduksi di Amerika Serikat oleh 14 perusahaan pada 17 fasilitas pabrik Pembuatan Isosianat mengkonsumsi sekitar 85% produksi fosgen di seluruh dunia yang utama adalah di dalam produksi *Toluene Diisocyanate* (TDI). Penggunaan fosgen juga berkembang pesat dalam pembuatan *Polymethylene Polyphenyl Isocyanate* (PMPPI), yang digunakan dalam produksi busa *Polyurethane*.

Tabel 1.1 Produksi Fosgen di Dunia

Manufacturer	***Location***	***Estimated annual production capacity (millions og pounds)***	***Estimated annual production capacity* (Ton)**
BASF Wyandotte Corp. Polymers group urethanes chems. Bussines	*Geismar, LA*	200	90720
Dow Chem U.S.A.	*Freeport, TX*	130	58968

E.I. du pont de Nenours & Co., Inc. Polymer Products Dept	*Deepwater, NJ*	80	36288
Essex Chem. Corp. Essex Indust. Chems., Inc., subsid. Organic Intermediates Dept	*Baltimore, MD*	8	3628,8
Gen. Electric Co. Plastics Business Operations	*Mount Vernon, IN*	125	56700
ICI Americas Inc. Performances Resin Div. Rubicon Chems., Inc	*Geismar, LA*	150	68040
Mobay Chem. Corp. Polyurethene Div	*Cedar Bayou, TX*	450	204120
	New Martinsville, WV	250	113400
Olin Corp. Olin Chems	*Lake Charles, LA*	140	63504
	Moundsville, WV	110	49896
PPG Indust., Inc, Chems. Group Specialty Products	*Baberton, OH*	5	2268
	La Porte, TX	50	22680
	Cold Creek, AL	24	10886,4

Stauffer Chem. Co Agricultural Chem. Div.	*St. Gabriel, LA*		0
Union Carbide Corp. Agricultural Chem. Div	*Institute, W*	140	63504
The Upjohn Co. Polymer Chems. Div.	*La Porte, TX*	270	122472
Van De Mark Chem. Co., Inc	*Lockport,NY*	8	3628,8
TOTAL		**2140**	**970704**
Rata- rata		**133,75**	**60669**

(Sri International, 1985)

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan data pabrik produsen fosgen di dunia, perkembangan industri kimia di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya, sehingga kebutuhan bahan baku dan bahan penunjang industri juga semakin meningkat. Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik fosgen, sementara industri tersebut telah berkembang dan beroperasi di kawasan Eropa dan Amerika. Oleh karena itu, perencanaan pendirian pabrik fosgen di Indonesia diharapkan mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri sekaligus berpotensi menyediakan pasokan bagi negara-negara di kawasan Asia yang permintaannya meningkat setiap tahun.

Dalam penentuan kapasitas pabrik, dilakukan analisis terhadap data kapasitas produksi tahunan dari berbagai produsen yang tercantum pada tabel

tersebut. Perhitungan nilai rata-rata dilakukan untuk memperoleh gambaran kapasitas yang representatif sebagai acuan perancangan. Setelah dilakukan pembandingan antara nilai rata-rata dengan kapasitas produksi aktual masing-masing pabrik, kapasitas yang paling mendekati adalah kapasitas produksi dari *E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Polymer Products Dept., Deepwater, NJ*, yaitu sebesar 36.288 ton/tahun. Pemilihan kapasitas ini didasarkan pada kedekatannya dengan nilai rata-rata yang telah dihitung serta pertimbangan bahwa kapasitas tersebut juga telah digunakan dalam tugas akhir sebelumnya sebagai acuan desain pabrik sejenis. Dengan demikian, kapasitas 34.000 ton/tahun dianggap paling representatif dan layak digunakan sebagai dasar perancangan pabrik fosgen pada saat ini.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Macam-macam Proses

Produksi pembuatan fosgen yang digunakan pada skala industri terdapat tiga macam proses diantaranya yaitu reaksi perkloroetilena dengan hidrogen klorida dan oksigen, dan reaksi karbon monoksida dengan klorin.

1. Proses Oksiklorinasi

   Proses ini terjadi dalam dua tahap reaksi, pada tahap pertama perkloroetilena ($Cl_2C = CCl_2$) bereaksi dengan hidrogen klorida dan oksigen untuk menghasilkan heksakloetana dan air. Reaksi ini dibantu dengan bantuan katalis Deacon (*Copper Chloride*) dengan menggunakan reactor jenis multitubular. Reaksi ini bersifat

eksotermis dan berlangsung pada suhu 200°C–375°C pada tekanan 1 atm.

Pada tahap kedua heksakloroetana bereaksi dengan karbon monoksida menghasilkan fosgen dan perkloroetilena. Reaksi ini berlangsung pada suhu 200-400 °C, tekanan 1 atm dan bersifat endotermis. Reaktor yang digunakan adalah jenis multitubular.

Tahap 1:

$$\underset{\text{Perkloroetilena}}{Cl_2C = CCl_{2(g)}} + 2HCl_{(l)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow \underset{\text{Heksakloroetana}}{CCl_3CCl_{3(g)}} + H_2O_{(l)}$$

Tahap 2:

$$\underset{\text{Perkloroetilena}}{CCl_3CCl_{3(g)}} + CO_{(g)} \rightarrow \underset{\text{Heksakloroetana}}{COCl_{2(g)}} + CCl_2 = CCl_{2(g)}$$

2. Proses Pengontakan Langsung

Proses ini dilakukan dengan jalan mereaksikan antar gas karbon monoksida dan gas klorin dengan bantuan katalis karbon aktif. Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:

$$CO_{(g)} + CL_2 \rightarrow COCl_{2(g)}$$

Reaksi bersifat eksotermis dengan perbandingan stoikiometri karbon monoksida dan klorin adalah 1,1:1. Reaksi dapat berlangsung pada suhu 77˚C-180˚C dengan yield 99%. Pada suhu di atas 250˚C, fosgen akan Kembali terurai menjadi karbon monoksida dan klorin.

Reaktor yang digunakan untuk proses ini adalah reaktor multitube yang biasanya terbuat dari karbon atau *stainless steel*.

Panas reaksi dihilangkan oleh air atau bahan-bahan organik lain yang mengalir dalam *shell* di reaktor. Reaksi bisa terjadi diatas atau dibawah tekanan atmosfer. Gas keluar reaktor akan dikondensasikan untuk mendapatkan fosgen cair sedangkan fosgen yang tidak terkondensasi atau *uncondensable* gas dibuang sebagai gas buang atau *flare*.

3. Proses Fase Cair

Suatu rute proses baru (fase cair) yang berpotensi untuk menghasilkan fosgen melibatkan reaksi CO dengan Cl_2 menggunakan katalis organofosfin klorida dalam pelarut *inert* untuk memberikan hasil produk yang cepat dan kuantitatif pada temperatur sedang (biasanya 60–120°C) dan tekanan sedang. Fosgen dipulihkan dengan memanaskan larutan atau dengan mengurangi tekanannya. Sebagai alternatif, tergantung pada kebutuhan proses selanjutnya, larutan fosgen dalam tetraklorometana atau klorobenzene dapat digunakan secara langsung.

katalis organofosfin klorida yang umum mencakup material yang berdasarkan formulasi berikut, atau prekursor mereka (seperti oksida fosfin yang sesuai), di mana R, R’, R”, dan R”’ mewakili berbagai gugus alkil atau alkil tersubstitusi.

$RR'R''PCl_2$ $RR'PCl_2\text{-}PCl_2R''R'''$

$RR'PCl_2(CH_2)_nPCl_2R''R'''$ (n = 1-6) $R'PCl_2{=}R'''$ h5

1.3.2 Pemilihan Proses

Setiap proses yang dapat digunakan dalam pra-rancangan pabrik fosgen memiliki kelebihan dan kekurangannya. Dan dapat dilihat juga perbandingan proses fosgen sebagai berikut:

Tabel 1.2 Perbandingan Proses Fosgen

Proses dan parameter	Pengontakan Langsung	Oksiklorinasi	Proses Fasa Cair
Bahan baku	Karbon monoksida dan klorin	Perkloroetilena hidrogen klorida dan oksigen	Karbon Monoksida, Klorin, tetraklorometana danchlorobenzene
Proses	1 Reaksi	2 Reaksi	1 reaksi
Suhu	77-180˚C	200-400˚C	60-120˚C
Tekanan	1,35 atm	1 atm	9,869–29,607 atm.
Konversi	90-97%	80-90%	97%
Katalis	Karbon Aktif	Deacon	organophosphine chloride
Kelebihan	1. Katalis karbon aktif mudah didapat 2. Proses terjadi cukup dengan 1 reaksi 3. Penelitian mengenai	1. Bahan HCl mudah didapatkan 2. Bahan HCl lebih murah dibandingkan klorin	1. Kontrol panas lebih mudah (Fase cair menyerap panas) 2. fosgen lebih mudah dipisahkan dari gas yang tidak

	proses pembuatan fosgen dari CO dan Cl_2 sudah banyak dilakukan bahkan di dunia sehingga mudah mencari data 4. Bahan baku yang digunakan tersedia di Indonesia		bereaksi dan, dengan menyediakan kelebihan CO 3. Jumlah klorin residual dalam larutan sangat kecil
Kekurangan	1. Gas CO harus murni karena impuritis pada gas CO berupa gas H_2 dan CH_4 dapat bereaksi dengan klorin menjadi HCl dan CCl_4. Reaksi tersebut tidak membutuhkan katalis dan dapat terjadi pada pipa sebelum masuk ke reaktor. Pada impuritis dengan kosentrasi rendah biasanya pembentukan impuritis	1. Katalis deacon lebih susah untuk didapatkan 2. Proses yang terjadi melalui 2 tahap reaksi 3. Bahan baku yang digunakan tidak tersedia di indonesia.	1. katalis yang lebih mahal dan sulit ditangani serta membutuhkan penambahan pelarut 2. Belum banyak dikomersialisasi

	produknya tidak signifikan, tetapi pada konsentrasi yang tinggi dapat menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan pipa (US Patent, 5693853). 2. Jika CO mengandung air, maka fosgen terhidrolisis menjadi gas karbon dioksida dan hydrochloric acid, dan jika klorin mengandung sulfide, maka dapat membentuk senyawa sulfur *chloride*, sehingga sebisa mungkin sulfide harus dihilangkan (*European Patent,* 0796819A1).		

	3. Temperatur dijaga agar tidak berlebih, karena pada suhu 483˚F (250˚C) klorin akan membakar besi dan menghasilkan api. Selain itu pada suhu diatas 250˚C fosgen akan terdekomposisi menjadi Cl_2, CO dan CCl_4 (*European Patent*, 0796819A1).		

Dari dua proses yang ada pada pembuatan fosgen ini, proses yang dipilih adalah reaksi pengontakan langsung dari karbon monoksida dengan Klorin menggunakan katalis karbon aktif. Pemilihan proses ini didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Proses ini dapat menggunakan bahan baku berupa karbon monoksida dan klorin yang mudah didapatkan di Indonesia.
2. Proses ini dapat berlangsung dengan satu tahap saja dan menghasilkan kemurnian yang tinggi 90-99%

3. Temperatur reaksi yang digunakan lebih rendah yaitu 77 °C - 180 °C sehingga operasional lebih aman dan lebih hemat energi.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Untuk menentukan sifat reaksi (eksotermis/endotermis), serta arah reaksinya (*reversibel/irreversibel*), diperlukan perhitungan dengan menggunakan panas pembentukan standar ($\Delta H^o f$) dari reaktan dan produk pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K.

Reaksi:

$$CO + Cl_2 + COCl_2$$

Tabel 1.3 Data ΔH^o_F dan pada 298K ΔG^o_F

Komponen	**ΔH^o_F (kJ/mol)**	**ΔG^o_F (kJ/mol)**
CO	-110,50	-137,2
Cl_2	0	0
$COCl_2$	-220,8	-206,7

(Carl, L. Yaws.1999)

1. Panas Reaksi Standar (ΔH°_R)

   a. Nilai ΔH°_R pada kondisi standar

$$\Delta H^\circ_R = \left(\Delta H^\circ_f Produk - \Delta H^\circ_f Reaktan\right)$$

$$= \Delta H^\circ_f COCl_2 - (\Delta H^\circ_f CO + \Delta H^\circ_f Cl_2)$$

$$= -220{,}8 \frac{kJ}{mol} - (-110{,}50) \frac{kJ}{mol}$$

$$= -110{,}3\ \frac{kJ}{mol}$$

$$= -110300\ \frac{J}{mol}$$

b. Nilai ΔH°_{R} pada kondisi Operasi

Perhitungan nilai reaksi ΔH_R pada kondisi operasi 126 °C dilakukan karena data entalpi standar reaksi hanya tersedia pada kondisi referensi 25 °C, maka diperlukan koreksi temperature menggunakan persamaan:

$$\Delta H^{\circ}_{R}\ (T) = \left(\Delta H^{\circ}_{R\ 298} - \int_{298,15}^{399,15} \Delta C_P dT\right)$$

Nilai Cp setelah diintegralkan pada suhu 298,15 - 399,15K diperoleh:

$$\int C_{P,COCl_2} dT = 8216{,}60\ J/mol$$

$$\int C_{P,CO} dT = 3133{,}49\ J/mol$$

$$\int C_{P,Cl_2} dT = 8567{,}70\ J/mol$$

Maka , $\int \Delta C_P dT$ = -3,485 Kj/mol

$$\Delta H^{\circ}_{R}\ (T) = \left(\Delta H^{\circ}_{R\ 298} - \int_{298,15}^{399,15} \Delta C_P dT\right)$$

$$= -110{,}3\ \frac{kJ}{mol} - (-3{,}485)\ \frac{kJ}{mol}$$

$$= -113{,}785\ \frac{kJ}{mol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai entalpi reaksi pada kondisi operasi 126°C sebesar -113,785 kJ/mol. Nilai entalpi yang bernilai negatif menunjukan bahwa reaksi pembentukan fosgen merupakan reaksi eksotermis.

2. Spontanitas Panas Reaksi (ΔG°_{f})

$$\Delta G^{\circ}_{f} = (\Delta G^{\circ}_{f} Produk - \Delta G^{\circ}_{f} Reaktan)$$

$$= \Delta G^{\circ}_{f} COCl_2 - (\Delta G^{\circ}_{f} CO + \Delta G^{\circ}_{f} Cl_2)$$

$$= -206{,}7 \frac{kJ}{mol} - (-132{,}20) \frac{kJ}{mol}$$

$$= -69{,}5 \frac{kJ}{mol}$$

$$= -69500 \frac{J}{mol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai energi Gibbs reaksi (ΔG) sebesar -69500 J/mol. Nilai ΔG yang bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi pembentukan fosgen berlangsung secara spontan dan bersifat layak secara termodinamika pada kondisi operasi ditinjau

$$\Delta G^{\circ}_{f} = -R\ T\ ln\ K$$

$$lnK = -\frac{\Delta G^{\circ}_{f}}{R \times T} = \frac{69500}{8{,}314 \times 298} = 28{,}0516$$

$$K = 1{,}5228 \times 10^{12}\ pada\ 298\ K$$

$$lnK = -\frac{\Delta G^{\circ}_{f}}{R \times T} = \frac{69500}{8{,}314 \times 350} = 23{,}8839$$

$$K = 1{,}5228 \times 10^{10}\ pada\ 350\ K$$

Dari hasil perhitungan dilihat bahwa K > 1. Maka dapat disimpulkan bahwa reaksi bersifat *irreversible.*

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Fosgen ($COCl_2$) terbentuk melalui reaksi antara gas karbon monoksida (CO) dan gas klorin (Cl_2). Reaksi ini termasuk reaksi eksotermik yang sangat dipengaruhi oleh faktor suhu, cahaya, serta keberadaan radikal bebas. Selain sintesis industri, proses fotokimia di atmosfer juga dapat menghasilkan fosgen dari senyawa klorinasi seperti kloroform dan karbon tetraklorida, sehingga menjadikan fosgen sebagai salah satu polutan udara berbahaya.

Pembentukan Fosgen:

$$CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$$

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 pre-eksponensial ($5 \times 10^7\ mol^{-1}\ s^{-1}$)

E = Energi Aktivasi ($105{,}6\ kJ/mol^{-1}$) $= 105600\ J/mol$

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

T = Suhu absolut (126˚C) = 400 K

Maka,

$$k = 5 \times 10^{7}\ mol^{-1}\ s^{-1} \exp^{\left(\frac{105600\ J/mol}{8{,}341\ J/mol^{-1}.K^{-1} \times 400\ K}\right)}$$

$$k = 8{,}10 \times 10^{-7}\ l\ mol^{-1}\ s^{-1}$$

BAB II
PERANCANGAN PRODUK

Untuk memenuhi kualitas produk sesuai dengan target perancangan ini, maka mekanisme pembuatan fosgen dirancang berdasarkan variabel utama yaitu: spesifikasi produk, spesifikasi bahan baku dan pengendalian kualitas.

2.1 Spesifikasi Produk

Fosgen memiliki rumus kimia $COCl_2$ dan di buat pertama kali oleh J. Davy pada 1812 dan digunakan sebagai agen perang kimia dalam Perang Dunia I. Fosgen diproduksi dari reaksi karbon monoksida dan gas klorin dengan adanya arang aktif. Fosgen digunakan dalam pembuatan isosianat, polikarbonat, pestisida, pewarna, dan farmasi. Fosgen adalah gas tidak berwarna dan tidak mudah terbakar yang massanya lebih dari tiga kali massa udara. Di bawah tekanan ia muncul sebagai cairan bening hingga kekuningan. Fosgen berbau khas yang sering terasa memberatkan pernapasan atau sangat tajam, meskipun pada konsentrasi tertentu baunya bisa samar. Baunya telah dideskripsikan mirip dengan jerami yang baru dipotong. Namun, bau yang ringan ini dan sifat iritan akutnya yang lemah belum memberikan indikasi yang jelas tentang keberadaannya.

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Karbon Monoksida

Karbon monoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak berwarna, tidak mengiritasi, tidak berbau, dan tidak berasa. Gas ini dihasilkan dari

pembakaran tidak sempurna bahan bakar karbon seperti kayu, bensin, batu bara, gas alam, dan minyak tanah. CO ditemukan oleh Lassone pada tahun 1776 dengan memanaskan campuran arang dan Zink Oxide.

2.2.2 Klorin

Klorin adalah gas berwarna kuning kehijauan pada suhu dan tekanan normal, dan umumnya diangkut secara komersial dalam bentuk cairan bertekanan. Klorin hanya sedikit larut dalam air dan juga bersifat reaktif tinggi sehingga dapat bereaksi secara eksotermis bahkan meledak jika terkena beberapa unsur atau senyawa organik dan anorganik tertentu. Klorin murni sendiri tidak mudah terbakar atau meledak namun, dalam kondisi tertentu ia dapat mendukung atau mempercepat pembakaran bahan tertentu, termasuk beberapa logam yang digunakan sebagai bahan penampung. Penggunaan klorin dalam industri sudah ada sejak tahun 1775, baru pada tahun 1811 nama "klorin" pertama kali digunakan, dan baru pada tahun 1815 sifat unsur klorin mulai diterima secara umum.

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Spesifikasi	**Bahan Baku**		
Rumus Molekul	CO	Cl_2	$COCl_2$
Fase	Gas	gas	Cair
Berat Molekul	28,01 g/mol	70,91 g/mol	98,92 g/mol
Titik Didih	-191,5˚C	34,05 ˚C	8,3 ˚C
Titik Beku	-205 ˚C	-101 ˚C	-118 ˚C
Densitas	$0{,}302 g/cm^3$	$0{,}573 g/cm^3$	$0{,}52 g/cm^3$
Suhu Kritis	-140 ˚C (133 K)	144 ˚C (417 K)	182 ˚C (455 K)

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian produksi dilakukan untuk menjamin bahwa seluruh tahapan konversi bahan baku menjadi produk akhir berlangsung secara sistematis, terukur, dan sesuai spesifikasi. Dengan pengendalian produksi yang baik, perusahaan dapat meminimalkan pemborosan, mengurangi *downtime*, meningkatkan *throughput*, dan menjamin kontinuitas operasi. Pengendalian kualitas (*quality control*) merupakan upaya sistematis untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan. Pengendalian kualitas meliputi pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses dan pengendalian kualitas produk.

a. Pengendalian Kualitas Bahan Baku

   Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan dengan memastikan bahwa seluruh material yang diterima telah memenuhi spesifikasi teknis dan kualitas yang dipersyaratkan, melalui inspeksi fisik, pengujian laboratorium, serta evaluasi konsistensi mutu pemasok. Tahap ini penting karena kualitas bahan baku akan sangat menentukan stabilitas proses dan kualitas produk yang dihasilkan.

b. Pengendalian Kualitas Proses

   Pengendalian produksi dilakukan untuk menjaga kualitas produk yang akan dihasilkan. Pengendalian dilakukan setiap tahapan proses mulai dari bahan baku hingga menjadi produk. Pengendalian ini meliputi pengawasan terhadap mutu bahan baku, bahan pembantu, produk setengah jadi maupun produk penunjang mutu proses. Semua pengawasan mutu

dapat dilakukan dengan analisis bahan di laboratorium maupun penggunaan alat kontrol.

Pengendalian kualitas proses dilakukan melalui pengaturan ketat terhadap parameter operasi, terutama suhu reaktor (50°C–150°C), tekanan sistem, dan rasio mol CO/Cl_2 untuk memastikan reaksi berlangsung secara selektif dan aman. Reaktor fixed-bed berisi katalis karbon aktif harus dipantau menggunakan sensor suhu multipoint untuk mencegah terjadinya *hot spot*, karena reaksi pembentukan fosgen merupakan reaksi sangat eksotermis. Pengendalian proses secara otomatis melalui *Distributed Control System* (DCS) dan penerapan *interlock* keselamatan menjadi keharusan dalam pabrik fosgen, mengingat sifat fosgen yang sangat toksik. Beberapa alat kontrol yang dijalankan yaitu, kendali terhadap kondisi operasi baik tekanan maupun suhu. Alat control yang harus diatur pada kondisi tertentu antara lain:

1. *Level Controller*

   Level Controller merupakan alat yang dipasang pada bagian dinding tangki berfungsi sebagai pengendalian volume cairan tangki / *vessel.*

2. *Flow Rate Controller*

   Flow Rate Controller merupakan alat yang dipasang untuk mengatur aliran, baik itu aliran masuk maupun aliran keluar proses.

3. *Temperature Controller*

Alat ini mempunyai *set point*/batasan nilai suhu yang dapat diatur. Ketika nilai suhu aktual yang diukur melebihi set point-nya maka outputnya akan bekerja. Jika belum sesuai dengan kondisi yang 20 ditetapkan, maka akan timbul tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu.

Jika pengendalian proses dilakukan terhadap kerja pada suatu harga tertentu supaya dihasilkan produk yang memenuhi standar, maka pengendalian mutu dilakukan untuk mengetahui apakah bahan baku dan produk telah sesuai dengan spesifikasi. Setelah perencanaan produksi disusun dan proses produksi dijalankan perlu adanya pengawasan dan pengendalian produksi agar proses berjalan dengan baik.

Kegiatan proses produksi diharapkan menghasilkan produk yang mutunya sesuai dengan standar dan jumlah produksi yang sesuai dengan rencana serta waktu yang tepat sesuai jadwal.

c. Pengendalian Kualitas Produk

Pengendalian kualitas produk dilakukan pada tahap pemurnian fosgen, yaitu dengan memastikan bahwa gas fosgen yang keluar dari unit reaktor dan kondensor memenuhi batas kemurnian yang ditetapkan (≥ 99,8%). Analisis kualitas dilakukan dengan metode seperti gas *chromatography* (GC) untuk mendeteksi kandungan CO tak bereaksi, Cl_2 berlebih, serta kontaminan lain. Proses pemurnian menggunakan distilasi rendah suhu atau pemisahan CO/Cl_2 residu dengan *adsorption* penting

dilakukan agar fosgen yang digunakan sebagai bahan baku TDI, MDI, maupun *polycarbonate* aman dan stabil.

d. Pengendalian Waktu Produksi

Pengendalian waktu dibutuhkan agar waktu yang digunakan selama proses produksi berlangsung dapat diminimalkan.

2.4 Analisa Risiko Proses

a. Karbon Monoksida

Untuk tingkat keracunan, yaitu LC50 pada tikus yang berarti LC50 berarti konsentrasi mematikan yang dinyatakan dalam mg/L atau ml/m³, yang mungkin menyebabkan kematian dalam 14 hari untuk 50% hewan yang diuji, yang diberikan melalui penghirupan debu atau kabut atau uap.

Tabel 2.2 Analisa Resiko Proses Karbon Monoksida

Hazard	Keterangan
Health	
LC_{50}	8636 ppm (rat, 15 min) 5207 ppm (rat, 30 min) 1784 ppm (rat, 4 h) 2414 ppn (mouse, 4 h) 5647 ppm (guinea pig, 4 h)
LClo	4000 ppm (human, 30 min) 5000 ppm (human, 5 min)
Flammability	
Flash Point	−191 C (−311.8 °F; 82.1 K)
UFL	74,2%
LFL	10,9%
Auto *Ignition Temperature*	609 ℃ (1,128 °F; 882 K)

1. *Hazard* Identifikasi Kesehatan
    - Merupakan gas yang sangat mudah terbakar.
    - Berisikan gas jika berada di bawah tekanan akan meledak, jika dipanaskan.
    - Beracun jika terhirup.
    - Dapat merusak kesuburan bayi.
    - Menyebabkan kerusakan pada organ melalui paparan yang lama atau berulang.
    - Menyebabkan asfiksia bahkan dengan oksigen yang cukup.
    - Dapat membentuk campuran yang mudah meledak dengan udara.
2. *Hazard* Identifikasi *Fire*
    - Gas yang sangat mudah terbakar.
    - Jika dipanaskan, peningkatan tekanan akan terjadi dan wadah dapat pecah.
3. *Hazard* Identifikasi Reaktivitas
    - Jika karbon monoksida dan karbon diosida bercampur, maka resiko ledakan terjadi.

b. Klorin

Klorin (Cl_2) adalah gas berwarna kekuningan kehijauan, berat jenis lebih besar dari udara, bersifat korosif dan sangat toksik jika terhirup. Klorin tidak mudah terbakar sendiri tetapi bereaksi eksotermik dengan banyak bahan organik dan reduktor sehingga dapat menimbulkan kebakaran/ledakan sekunder.

Tabel 2.3 Analisa Resiko Proses Klorin

Hazard	Keterangan
Health	
LC_{50}	293 ppm (rat, 1h)
Flammability	
Not flammability	-

1. *Hazard* Identifikasi Kesehatan
    - Berbahaya jika terjadi kontak kulit (iritan), kontak mata (iritan), tertelan, terhirup (iritan paru-paru). Sedikit berbahaya dalam kasus kontak kulit (permeator). *Non-sensitizer* untuk kulit. Korosif pada kulit dan mata saat kontak. Cairan atau semprotan kabut mungkin menimbulkan kerusakan jaringan terutama pada selaput lendir mata, mulut dan saluran pernafasan. Kontak kulit dapat menghasilkan terbakar. Menghirup kabut semprotan dapat menyebabkan iritasi parah pada saluran pernapasan, ditandai dengan batuk, tersedak, atau sesak napas.
2. *Hazard* Identifikasi *Fire*
    - Tidak mudah terbakar.
3. *Hazard* Identifikasi Reaktivitas
    - Tidak kompatibel dengan alcohol dan berbagai macam logam.
    - Jauhkan dari pancaran sinar matahari.

c. Fosgen ($COCl_2$)

Tabel 2.4 Analisa Risiko Proses Fosgen

Hazard	Keterangan
Health	
LC_{50}	500 ppm (human, 1 min) 340 ppm (rat, 30 min) 438 ppm (mouse, 30 min) 243 ppm (rabbit, 30 min) 316 ppm (guinea pig, 30 min) 1022 ppm (dog, 20 min) 145 ppm (monkey, 1 min)
LClo	3 ppm (human, 2.83 h) 30 ppm (human, 17 min) 50 ppm (mammal, 5 min) 88 ppm (human, 30 min) 46 ppm (cat, 15 min) 50 ppm (human, 5 min) 2.7 ppm (mammal, 30 min)
Flammability	
Not Flammability	-

1. *Hazard* Identifikasi Kesehatan

- Penghirupan bisa berakibat fatal jika gejala paparan berlebihan yang berbahaya dapat tertunda beberapa jam. Efek mungkin termasuk lakrimasi, batuk, dahak berdarah, rasa terbakar pada hidung dan tenggorokan, nyeri dada, muntah, dispnea, lesi paru paru, edema paru dan kematian.
- Jika menelan Produk ini berupa gas akan frostbite jika terjadi kontak dengan cairan pada bibir dan mulut.
- *Eyecontact*, uap sangat mengiritasi dan akan mengalami ketidaknyamanan, produksi air mata berlebih dan kedipan berlebihan, cairan dapat menyebabkan iritasi lokal yang parah dan luka bakar.

2. *Hazard* Identifikas*i Fire*

    - Tidak mudah terbakar.

3. *Hazard* Identifikasi Reaktivitas

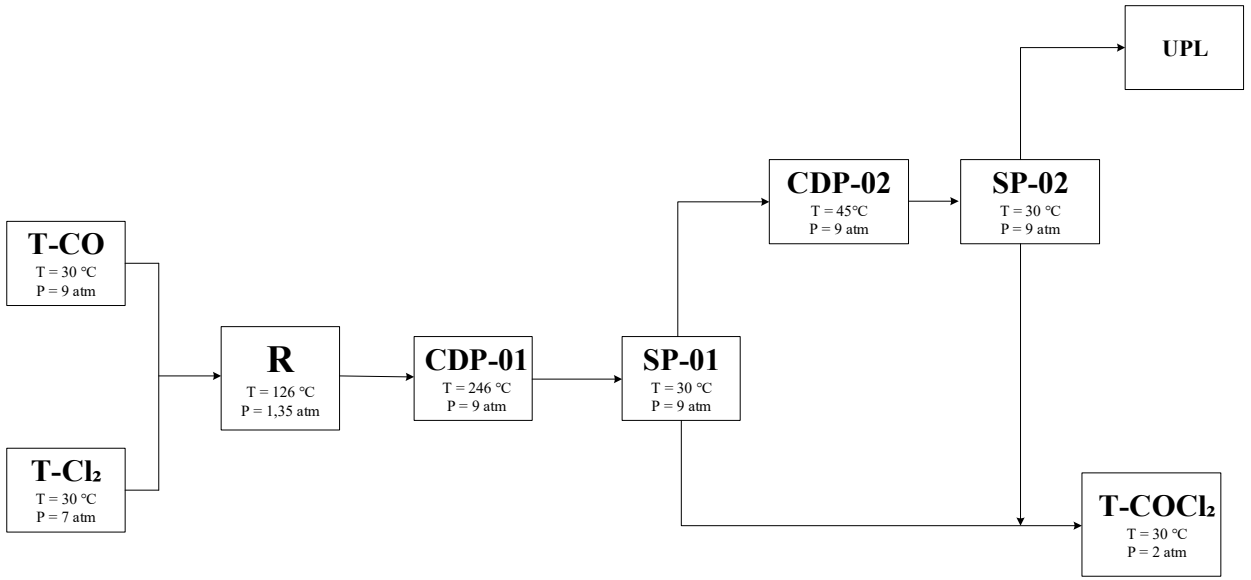
    - Tidak Diketahui.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

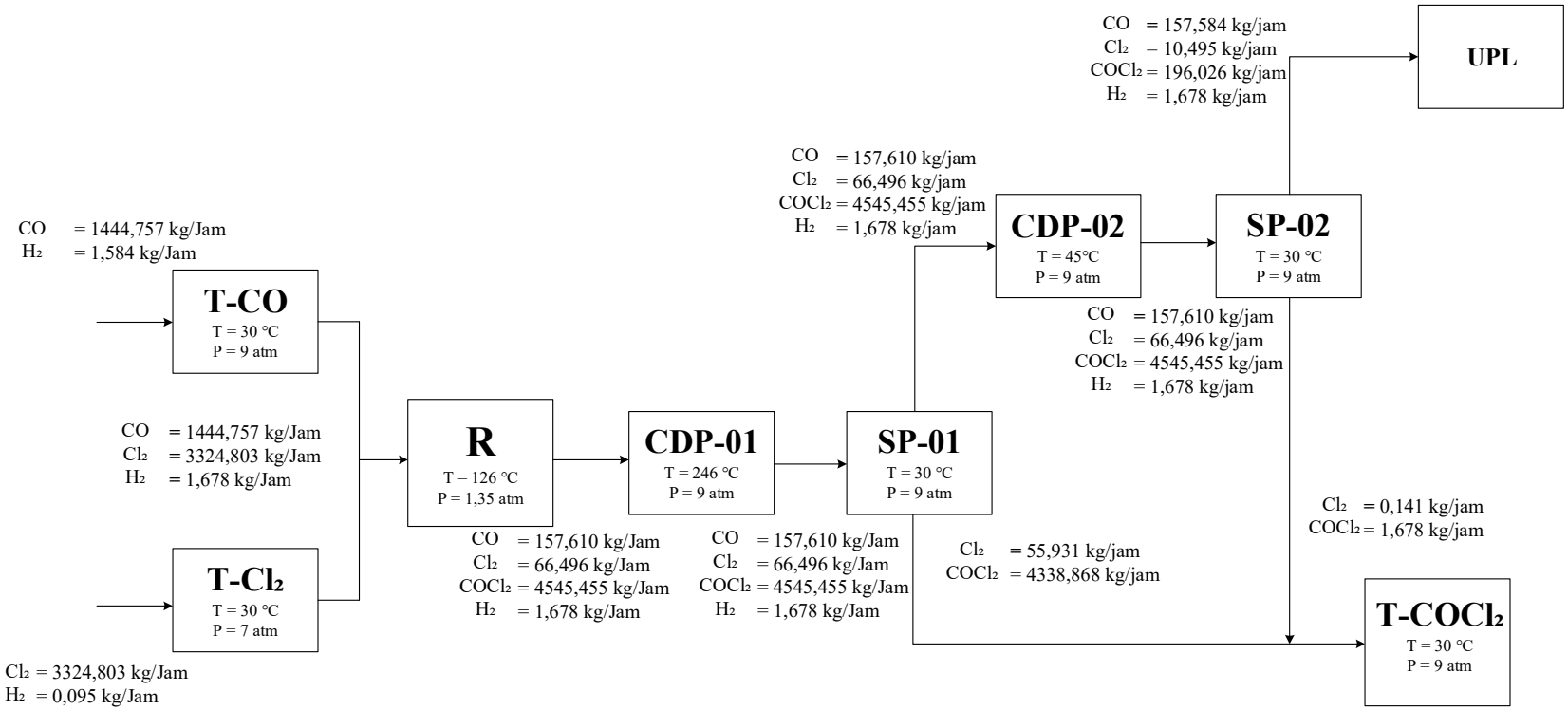
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

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 fosgen ini diporduksi dengan kapasitas 34.000 ton/tahun, proses pembuatan fosgen menggunakan bahan baku karbon monoksida dan klorin dalam bentuk gas yang melalui proses pengontakan langsung dengan menggunakan bantuan katalisator yaitu Norit RX3. Proses pembuatan fosgen digolongkan menjadi 3 proses reaksi, yaitu:

a. Pemisahan

b. Pemurnian

c. Penyimpanan

3.2.1 Proses Persiapan Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Bahan baku yang digunakan pada proses ini adalah karbon monoksida (CO) dan gas klorin (Cl_2). Karbon monoksida dengan impuritas gas hidrogen dialirkan dari *supplier* pada tekanan 9 atm dan suhu 30°C ke dalam tangki penyimpanan karbon monoksida (T-01) pada kondisi operasi 9 atm dan 30°C dalam fase gas. Selanjutnya, aliran dilewatkan melalui *expansion valve* hingga tekanannya turun menjadi 1,35 atm, lalu dipanaskan menggunakan *heater* sampai mencapai suhu 126°C.

Prosedur yang sama dilakukan pada gas klorin dengan impuritas gas hidrogen akan disimpan dalam tangki penyimpanan klorin (T-02) pada kondisi 7 atm dan 30°C dalam fase gas, kemudian diturunkan tekanannya menjadi 1,35 atm melalui *expansion valve* dan dipanaskan menggunakan *heater* hingga suhu 126°C.

3.2.2 Proses Produksi

Bahan baku berupa karbon monoksida (CO) dan gas klorin (Cl_2) yang telah disesuaikan kondisi suhu dan tekanannya selanjutnya diumpankan ke dalam reaktor untuk menjalani proses pembentukan fosgen. Reaksi berlangsung pada suhu 126°C dan tekanan 1,35 atm dengan tujuan mempertahankan seluruh reaktan tetap berada dalam fase gas sehingga kontak antara reaktan dan katalis dapat berlangsung secara optimal. Proses reaksi dilakukan di dalam Reaktor *Fixed Bed Multitube* (R-01) yang dioperasikan secara isotermal dan non-adiabatik. Reaksi pembentukan fosgen bersifat eksotermis, sehingga selama proses berlangsung akan dihasilkan panas dalam jumlah tertentu. Oleh karena itu, reaktor dilengkapi dengan sistem pendingin yang berfungsi menyerap panas hasil reaksi untuk menjaga kestabilan suhu operasi di dalam reaktor. Pengendalian suhu ini sangat penting untuk mempertahankan kondisi operasi yang diinginkan, meningkatkan efisiensi reaksi, serta mencegah terjadinya kenaikan suhu berlebih yang dapat memengaruhi performa reaktor dan kualitas produk yang dihasilkan.

3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk

Produk keluaran dari Reaktor R-01 berupa campuran karbon monoksida (CO), klorin (Cl_2), hidrogen (H_2), dan fosgen ($COCl_2$) pada kondisi operasi suhu 126°C dan tekanan 1,35 atm. Aliran keluaran reaktor selanjutnya dikompresi menggunakan kompresor (K-03) hingga mencapai tekanan 9 atm sebelum dialirkan menuju Kondensor Parsial (CDP-01). Proses kondensasi parsial bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi fosgen hingga di atas 90% melalui pengembunan senyawa $COCl_2$ serta pemisahannya dari gas CO, H_2, dan Cl_2 yang tidak bereaksi. Kondensor Parsial (CDP-01) dioperasikan pada tekanan 9 atm dengan suhu aliran masuk sebesar 128°C dan suhu aliran keluar sebesar 45°C. Hasil keluaran dari kondensor parsial berupa campuran fase gas dan cair yang mengandung CO, Cl_2, H_2, dan $COCl_2$ sehingga diperlukan proses pemisahan lanjutan menggunakan separator (SP-01). Pada separator tersebut, fraksi cair yang terdiri atas $COCl_2$ dan Cl_2 dengan konsentrasi fosgen sebesar 98% diperoleh sebagai produk bawah, sedangkan fraksi gas yang terdiri atas CO, Cl_2, H_2, dan sisa $COCl_2$ diperoleh sebagai produk atas. Separator (SP-01) beroperasi pada suhu 30°C dan tekanan 9 atm.

Produk atas dari Separator (SP-01) yang masih mengandung sejumlah bahan baku yang belum bereaksi selanjutnya dialirkan menuju Kondensor Parsial 2 (CDP-02) untuk dilakukan proses kondensasi lanjutan. Tahap ini dilakukan karena proses kondensasi pada tahap sebelumnya belum berlangsung secara maksimal, sehingga masih terdapat

sebagian produk fosgen yang belum terkondensasi dan masih terbawa pada aliran gas keluaran separator. Oleh karena itu, dilakukan tahap kondensasi kedua untuk meningkatkan jumlah fosgen yang dapat terkondensasi dan diperoleh kembali sebagai produk. Aliran keluaran dari Kondensor Parsial 2 (CDP-02) kemudian dipisahkan menggunakan Separator 2 (SP-02) untuk memisahkan fase gas dan fase cair hasil kondensasi.

3.2.4 Tahap Penyimpanan

Hasil bawah dari Separator 1 (SP-01) dan Separator 2 (SP-02) yang didominasi oleh fosgen cair dialirkan menggunakan pompa menuju tangki penyimpanan produk (T-03) pada kondisi operasi dengan suhu 30℃ dan tekanan 9 atm dan kemurnian produk 98%. Sedangkan produk atas yang masih mengandung gas sisa proses dialirkan menuju Unit Pengolahan Limbah (UPL) untuk penanganan lebih lanjut sebelum dilepaskan ke lingkungan.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Alat Proses

a. Reaktor

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor

Kode	:	R-01
Fungsi	:	Mereaksikan karbon monoksida dan klorin menjadi fosgen dengan bantuan katalis karbon aktif
Jenis/Tipe	:	*Fixed Bed Multitube Reactor*

Mode Operasi	:	Kontinyu
Jumlah	:	1
Katalis		
b. Jenis Katalis	:	Karbon Aktif
b. Bentuk Katalis	:	Butiran
c. Ukuran Katalis	:	5 mm
d. TinggiTumpukan	:	1,021 m
e. Porositas	:	0,05
Kondisi Operasi		
a. Suhu	:	126 ℃
b. Tekanan	:	1,35 atm
c. Kondisi Operasi	:	Eksotermis
Mechanical Design		
Tube		
a. Jumlah	:	560 buah
b. Panjang	:	6,096 m
c. Diameter (ID)	:	4,026 in
d. Material	:	*Stainless steel SA 53 Grade A*
Shell		
a. Diameter	:	3,551 m
b. Tebal	:	0,004 m
c. Material	:	*Stainless steel SA 285 Grade C*
d. Bentuk *Head*	:	*Torispherical dished head*

e. Tebal *Head*	:	0,0762 m
f. Tinggi *Head*	:	3,13 m
g. Tinggi Reaktor	:	12,48 m
Jenis pemanas/pendingin	:	*Cooling water*
Harga	:	$ 2.404.500

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung

a. Condensor Parsial

Tabel 3.2 Spesifikasi Condensor Parsial

Nama Alat	Condensor parsial	Condensor parsial
Kode	CDP-01	CDP-02
Wujud Bahan	Gas	Gas
Fungsi	Untuk mengembunkan gas menjadi cairan dari keluaran kompresor (K-01)	Untuk mengembunkan gas menjadi cairan dari keluaran (SP-01)
Jenis	*Double Pipe Heat Exchanger*	*Double Pipe Heat Exchanger*
Jumlah Unit	1	1
Kondisi Operasi		
Hot Fluid Temperature (in), °C	128	45
Hot Fluid Temperature (out), °C	30	30
Cold Fluid Temperature (in), °C	30	22
Cold Fluid Temperature (out), °C	50	29

Tekanan, atm	9	9
Material Konstruksi	*Carbon Stell SA-283 Grade C*	*Carbon Stell SA-283 Grade C*
Spesifikasi		
a", ft^2/ft	0,2618	0,2618
Pt, Triangular	1,25	1,25
A,ft^2	2160,418	845,222
Uc, Btu/jam. ft^2. ° F	631	527
Ud, Btu/jam. ft^2. ° F	4,891	18,252
Rd *calculated*	0,203	0,053
Mechanical Design		
Hot Fluid: Shell, Produk		
Aliran Fluida	*Hot Fluid*	*Hot Fluid*
IDs, in	35	23,25
Passes	4	1
ΔP perhitungan, psi	0,00011	0,00000544
ΔP diijinkan, psi	10	10
Cold Fluid: Inner Pipe, Water		
Aliran Fluida	*Cold Fluid*	*Cold Fluid*
Nt, buah	593	232
L, ft	16	16
OD, in	1	1
ID, in	0,87	0,87

BWG, in	16	16
ΔP perhitungan, psi	0,022	0,0061
ΔP diijinkan, psi	10	10
Harga	$ 264.300	$ 170,700

b. Separator

Tabel 3.3 Spesifikasi Separator

Nama Alat	Separator	Separator
Kode	SP-01	SP-02
Fungsi	Memisahkan cairan dan gas keluaran dari Condenser Parsial (CDP-01)	Memisahkan cairan dan gas keluaran dari Condenser Parsial (CDP-02)
Tipe	*Vertical Separator*	*Vertical Separator*
Jumlah	1	1
Kondisi Operasi		
Tekanan, atm	9	9
Suhu, ℃	30	30
Material Konstruksi	*Stainless Steel SA Grade 167 Type 11*	*Stainless Steel SA Grade 167 Type 11*
Dimensi *Shell*		
Diameter, m	0,321	0,266
Tinggi, m	4,873	1,255
Tebal, m	0,006	0,006
Dimensi *head*		

Jenis	*Elliptical dishead head*	*Elliptical dishead head*
Tinggi, m	0,132	0,123
Tebal, m	0,006	0,006
Harga	$ 5.300	$4.700

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan dan Produk

a. Tangki Penyimpanan produk fosgen ($COCl_2$)

Tabel 3.4 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Produk

Nama	Tangki Produk
Kode	T-03
Fungsi	Menyimpan produk $COCl_2$
Tipe	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (*flat bottom*) dan atap *(head)* berbentuk *Thorispherical*
Fase	Cair
Waktu Penyimpanan	7 hari
Jumlah	1
Kapasitas, m^3	1261,7766
Tekanan, atm	9
Suhu, °C	30

Material Konstruksi	*Stainless Steel SA-167 Grade 11 type 316*
Diameter, m	13,716
Tinggi Tangki, m	13,716
Tebal Tangki, m a. Course b. Course c. Course d. Course e. Course f. Course g. Course	 0,00645 0,00626 0,00607 0,00589 0,00570 0,00552 0,00533
Tipe	*Torispherical*
Tebal *head,* in	3
Tinggi *head,* m	39,134
Harga	$ 583.500

b. Tangki Penyimpanan Bahan Baku CO dan Cl_2

Tabel 3.5 Tangki Penyimpanan Bahan Baku

Nama Alat	Tangki-01	Tangki-02
Kode	T-01	T-02
Fungsi	Menyimpan kebutuhan CO	Menyimpan kebutuhan Cl_2
Waktu Penyimpanan	7 hari	7 hari
Fase	Gas	Gas

Jenis	Tangki Bola (*Spherical Tank*)	Tangki Bola (*Spherical Tank*)
Material Konstruksi	*Carbon Steel* SA-283 grade C	*Stainless Steel* SA-283 grade C
Tekanan, atm	9	7
Suhu, °C	30	30
Diameter, m	12,321	8,913
Tebal shell, in	0,971	0,026
Volume, m^3	978,945	370,559
Jumlah	1	1
Harga	$ 122.300	$ 99.900

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi

a. *Expansion Valve*

Tabel 3.6 Spesifikasi *Expansion Valve*

Nama Alat	*Expansion Valve*	*Expansion Valve*
Kode	EV-01	EV-02
Fungsi	Menurunkan tekanan CO sebelum masuk ke reaktor	Menurunkan tekanan Cl_2 sebelum masuk ke reaktor
Jenis	*Globe Valve Open*	*Globe Valve Open*
Material Konstruksi	*Commercial Stainless Steel ALSI tipe 316*	*Commercial Stainless Steel ALSI tipe 316*
Kapasitas	1446,3408 Kg/jam	0,0095 Kg/jam
ID	1,38 in	1,38 in
OD	1,66 in	1,66 in

a't	1,5 ft^2	1,5 ft^2
Le	12,1914 m	12,1914 m
Harga	$ 81,77	$ 81,77

b. Kompresor

Tabel 3.7 Spesifikasi Kompresor

Nama Alat	Kompresor
Kode	COMP-01
Fungsi	Untuk menaikkan tekanan sebelum masuk reaktor dari 1,35 atm menjadi 9 atm
Tekanan Masuk, atm	1,35
Tekanan Keluar, atm	9
Suhu Masuk, ℃	126
Suhu Keluar, ℃	128,85
Power motor, Hp	1,5
Jumlah	1
Harga	$ 2.000

c. Pompa

Tabel 3.8 Spesifikasi Pompa

Nama Alat	Pompa	Pompa
Kode	P-01	P-02
Fungsi	Untuk mengalirkan hasil bawah separator yaitu fosgen ke dalam tangki $COCl_2$ (T-03)	Untuk mengalirkan hasil bawah separator yaitu fosgen ke dalam tangki $COCl_2$ (T-03)
Tipe	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1	1
Power motor (HP)	200	0,05
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*
Dimensi Pipa	1,05	0,84
IPS, in	0,75	0,5
Schedule No	80	40
Flow Area, in2	0,432	0,304
Harga	$7600	$7600

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. *Heat Exchanger*

Tabel 3.9 Spesifikasi *Heat Exchanger*

Nama Alat	*Heater 01*	*Heater 02*	Heater 03
Kode	HE-01	HE-02	HE-03
Jenis	*Double Pipe*	*Double Pipe*	*Double Pipe*

Fungsi	Menaikan temperatur keluaran Expansion Valve 01 (EV-01) menuju reaktor 01 (R-01) dari suhu 30℃ menjadi suhu 126℃	Menaikan temperatur keluaran Expansion Valve 01 (EV-02) menuju reaktor 01 (R-01) dari suhu 30℃ menjadi suhu 126℃	Menaikan temperatur keluaran separator 01 (SP-01) menuju *Condensor Parsial 02* (CDP-02) dari suhu 30 ℃ menjadi suhu 45 ℃
Bahan Konstruksi	*Stainless Steel*, 316	*Stainless Steel*, 316	*Stainless Steel*, 316
A, ft^2	23,719	78,803	36,000
Jumlah *Hairpin*	2 buah	7 buah	1 buah
Rdmin, Btu/hr. ft^2. °F	0,001	0,001	0,001
Rdcal, Btu/hr. ft^2. °F	0,015	0,003	0,961
Mechanical Design			
Annulus			
Fluida	*Steam*	*Steam*	*Steam*
Jenis Fluida	*Hot fluid*	*Hot fluid*	*Hot fluid*
IPS	4 in	4 in	2,5 in
OD	4,50 in	4,50 in	2,88 in
ID	4,03 in	4,03 in	2,45 in
Schedule. No	40	40	40
Flow area	3,14 in^2	3,14 in^2	2,63
Surface Area	1,18 ft^2/ft	1,18 ft^2/ft	0,75 ft^2/ft

Inner Pipe			
Fluida	Karbon Monoksida (CO)	Klorin Cl_2	Karbon Monoksida (CO), Klorin Cl_2, fosgen $COCl_2$
Jenis fluida	*Cold Fluid*	*Cold Fluid*	*Cold Fluid*
IPS	3 in	3 in	2,50 in
OD	3,50 in	3,05 in	2,88 in
ID	3,07 in	3,07 in	2,47 in
Schedule. No	40	40	40
Flow area	7,38 in^2	7,38 in^2	1,50 in^2
Surface Area	0,92 ft^2/ft	0,92 ft^2/ft	0,44 ft^2/ft
Jumlah Alat	1	1	1
Harga	$ 2.900	$ 4.600	$ 2.700

3.4 Neraca Massa

Basis perhitungan Neraca Massa :

Kapasitas Produk : 34.000 ton/tahun

Diambil dalam 1 Tahun : 109,091 ton/hari

1 hari kerja : 109090,909 Kg/hari

Basis Perhitungan : 100

$$= \left[34.000\ \frac{ton}{tahun} \times 1000 \frac{kg}{ton} \times \frac{1\ tahun}{330\ hari} \times \frac{1\ hari}{24\ jam}\right]$$

$$= 4545{,}455\ \frac{kg}{jam}$$

1. ***Fixed Bed Multitube*** **(R-01)**

Tabel 3.10 Neraca Massa *Fixed Bed Multitube*

Komponen	**Input (Kg/jam)**	**Output (Kg/jam)**
	Arus 1	**Arus 2**
CO	1444,7572	157,6099
Cl_2	3324,8032	66,4961
$COCl_2$	0	4545,45
H_2	1,678	1,678
Total	**4771**	**4771**

2. ***Condensor Parsial*** **(CDP-01)**

Tabel 3.11 Neraca Massa *Condensor Parsial* (CDP-01)

Komponen	**Input (Kg/jam)**	**Output (Kg/jam)**
	Arus 2	**Arus 3**
CO	157,610	157,610
Cl_2	66,496	66,496
$COCl_2$	4545,455	4545,455
	1,678	1,678
Total	**4771**	**4771**

3. Separator (SP-01)

Tabel 3.12 Neraca Massa Separator (SP-01)

Komponen	Input (Kg/jam)	Output (Kg/jam)	
	Arus 2	Arus 3 (Atas)	Arus 4 (Bawah)
CO	157,610	157,584	0
Cl_2	66,496	10,636	55,860
$COCl_2$	4545,455	206,587	4338,868
H_2	1,678	1,678	0
Total	**4771**	**376,485**	**4394,754**
		4771	

4. *Condensor Parsial* (CDP-02)

Tabel 3.13 Neraca Massa *Condensor Parsial* (CDP-02)

Komponen	Input (Kg/jam)	Output (Kg/jam)
	Arus	Arus
CO	157,584	157,584
Cl_2	10,636	10,636
$COCl_2$	206,587	206,587
H_2	1,678	1,678
Total	**376,485**	**376,485**

5. Separator (SP-02)

Tabel 3.14 Neraca Massa Separator (SP-01)

Komponen	Input (Kg/jam)	Output (Kg/jam)	
	Arus 3	Arus 4 (Atas)	Arus 5 (Bawah)
CO	157,584	157,584	0
Cl_2	10,636	10,469	0,141
$COCl_2$	206,587	196,026	10,561
H_2	1,678	1,678	0
Total	**376,485**	**365,782**	**10,703**
		376,485	

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Alat

a. Reaktor (R-01)

Tabel 3.15 Neraca Panas Reaktor

Komponen	Q_{input} (kJ/jam)	Q_{output} (kJ/jam)
Q_{Umpan}	319979,1399	-
Q_{Produk}	-	306690,2335
Q_{reaksi}	-	621591,5517
Q_{steam}	608302,6453	-
Total	**928281,7852**	**928281,7852**

b. *Heater* 1 (HE-01)

Tabel 3.16 Neraca Panas *Heater* (HE-01)

Komponen	Q_{input} (kJ/jam)	Q_{output} (kJ/jam)
CO	30.945,416	152.270,980
H_2	466,607	2.297,879
Pemanas	123.156,76	0
Total	154.568,787	154.568,787

c. *Heater* 2 (HE-02)

Tabel 3.17 Neraca Panas *Heater* (HE-02)

Komponen	Q_{input} (kJ/jam)	Q_{output} (kJ/jam)
CO	77623,310	486688,930
H_2	27,8834	137,314
Pemanas	409175,051	0
Total	486826,244	486826,244

d. *Condensor Parsial* 1 (CDP-01)

Tabel 3.18 Neraca Panas *Condensor Parsial* (CDP-01)

Komponen	Q_{input} (kJ/jam)	Q_{output} (kJ/jam)	
		Gas (kJ/jam)	Cair (kJ/jam)
CO	16921,985	76786,471	106233,186
Cl_2	3327,493	22330,144	1799,969
$COCl_2$	206066,882	1334183,957	28172,667

H_2	2495,394	7965,745	-2009613,571
Pendingin		660953,188	
Total	228811,755	2102219,504	-1873407,750
		228811,755	

e. *Condensor Parsial* 2 (CDP-02)

Tabel 3.19 Neraca Panas *Condensor Parsial* (CDP-02)

Komponen	**Q_{input} (kJ/jam)**	**Q_{output} (kJ/jam)**	
		Gas (kJ/jam)	**Cair (kJ/jam)**
CO	3272,097	70224,390	19532,080
Cl_2	101,682	3368,003	55,947
$COCl_2$	1763,742	57090,805	286,003
H_2	481,016	7004,205	-360398,092
Pendingin		208455,194	
Total	**5618,536**	**346142,597**	**-340524,061**
		5618,536	

f. *Expansion Valve* 01 (EV-01)

Tabel 3.20 Neraca Panas *Expansion Valve* (EV-01)

Komponen	**Q_{input} (kJ/jam)**	**Q_{output} (kJ/jam)**
CO	7.500,119	30.945,416
H_2	113,028	466,607

Pemanas	23.798,875	0
Total	**31.412,023**	**31.412,023**

g. *Expansion Valve*-02 (EV-02)

Tabel 3.21 Neraca Panas *Expansion Valve* (EV-02)

Komponen	Q_{input} **(kJ/jam)**	Q_{output} **(kJ/jam)**
Cl_2	17.983,871	83122,733
H_2	6,754	29,740
Pemanas	65.161,847	0
Total	**83.152,473**	**83152,473**

BAB IV
PERANCANGAN PABRIK

4.1 Penentuan Lokasi

Pemilihan dan penentuan letak suatu sangat penting dalam perencanaan pabrik dan akan mempengaruhi kemajuan serta kelangsungan suatu industri, karena hal tersebut menyangkut faktor produksi dan besarnya keuntungan yang dihasilkan serta perluasan di masa yang akan datang. Faktor utama adalah pabrik harus dibangun dengan *production cost* dan *operating cost* yang minimum, tetapi tersedianya ruang untuk perluasan pabrik juga menjadi hal yang dipertimbangkan.

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pemilihan lokasi pabrik fosgen ini antara lain:

1. Ketersediaan bahan baku
2. Sarana utilitas yang cukup dan memadai
3. Penyediaan sumber daya manusia (tenaga kerja)
4. Transportasi dan distribusi yang lancar
5. Pemanasan yang cukup potensial
6. Keadaan iklim yang stabil

Dengan memperhatikan faktor-faktor yang di pertimbangkan di atas, maka lokasi yang tepat dan memenuhi syarat untuk lokasi pendirian pabrik fosgen direncanakan dibangun di daerah Cilegon, Banten. Dan lokasi pabrik dapat dilihat pada gambar ke dua

Gambar 4.1 Lokasi Cilegon, Banten

Gambar 4.2 Lokasi didirikan Pabrik Fosgen

Daerah Cilegon merupakan lokasi terbaik untuk mendirikan pabrik fosgen, hal ini dipertimbangkan karena beberapa hal berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

   Suatu pabrik sebaiknya berada di daerah yang dekat dengan bahan baku dan daerah pemasaran sehingga transportasi dapat berjalan dengan lancar dan biaya transportasi dapat diminimalisir.

Pabrik juga sebaiknya dekat dengan pelabuhan laut. Jika ada bahan baku atau produk yang dikirim dari atau ke luar negeri. Bahan baku untuk pembuatan fosgen yaitu gas karbon monoksida (CO) dan gas klorin (Cl_2). gas karbon monoksida (CO) didapat dari pabrik PT. Samator Indonesia di Cilegon, Banten. Sedangkan gas klorin (Cl_2) didapat dari pabrik PT.Asahimas Chemical, Cilegon, Banten.

2. Utilitas

   Dalam pendirian suatu pabrik, tenaga listrik dan bahan bakar adalah faktor penunjang yang paling penting. Tenaga listrik tersebut didapat dari PLTU PT. Krakatau Daya Listrik dan tenaga listrik sendiri. Pembangkit listrik utama untuk pabrik adalah PLN Yang bahan bakarnya diperoleh dari pertamina. Lokasi pabrik dekat dengan sungai wadas, maka keperluan air (Air proses, air pendingin/penghasil steam, perumahan dan lain-lain) dapat diperoleh dengan mudah.

3. Sumber Daya Manusia (Tenaga Kerja)

   Sebagai kawasan industri, daerah ini merupakan salah satu tujuan para pencari kerja. Tenaga kerja yang dibutuhkan mudah untuk didapatkan, baik tenaga berpendidikan tinggi, menengah maupun tenaga terampil yang siap pakai, karena di daerah ini sudah banyak berdiri sarana-sarana pendidikan dengan kualitas yang dapat diandalkan.

4. Transportasi

Sarana Transportasi dari dan ke lokasi pabrik haruslah lancar dan memadai. Pembelian bahan baku dan penjualan produk dapat dilakukan melalui jalan darat maupun laut. Angkutan darat dengan jalan raya yang cukup lancar dapat dilalui oleh kendaraan besar dan kecil. Pelabuhan PT Indonesia II cabang Banten yang ada cukup memadai untuk pengangkutan melalui laut, sehingga dapat mengangkut bahan baku maupun produk. Dengan ketersediaan saran tersebut akan menjamin kelangsungan produksi pabrik.

5. Pemasaran

Pemasaran mudah dijangkau karena tersedianya sarana transportasi yang memadai. Pemasaran produk dilakukan melalui darat. Pemasaran jalan laut dapat dilakukan melalui pelabuhan PT. Indonesia II cabang Banten. Lokasi pendirian pabrik dekat dengan pelabuhan PT. Indonesia II cabang Banten sehingga produk dapat dipasarkan baik dalam maupun luar negeri.

6. Keadaan Iklim

Daerah Bojonegara, Banten merupakan suatu daerah yang terletak di daerah kawasan industri dan lumayan dekat dengan pesisir pantai yang memiliki daerah alam yang sangat menunjang. Daerah Bojonegara dan sekitarnya telah direncanakan oleh pemerintah sebagai salah satu pusat pengembangan wilayah produksi industri.

Temperatur udara normal daerah tersebut sekitar 30 ^{o}C, sehingga kemungkinan operasi pabrik dapat berjalan dengan lancar.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

1. Perluasan Area Unit

   Ekspansi pabrik dimungkinkan karena tanah sekitar memang dikhususkan untuk daerah pembangunan industri.

2. Biaya dan Perizinan Tanah

   Lokasi yang dipilih telah memenuhi aspek keselamatan kerja serta berada di kawasan yang diperuntukkan bagi pengembangan industri. Lahan yang tersedia cukup luas dengan biaya yang relatif ekonomis, sehingga mendukung pembangunan fasilitas secara optimal. Selain itu, kegiatan operasional seperti pengendalian proses, distribusi, pemindahan, hingga pemeliharaan peralatan dapat dilakukan dengan mudah dan aman. Pemanfaatan area juga dirancang seefisien mungkin, serta didukung oleh akses transportasi yang memadai untuk menunjang kelancaran operasional.

3. Lingkungan Masyarakat Sekitar

   Dukungan masyarakat sekitar terhadap rencana pendirian pabrik diperkirakan cukup baik, terutama karena adanya potensi pembukaan lapangan kerja yang dapat meningkatkan kesejahteraan lokal. Selain itu, operasional pabrik dirancang agar tetap memperhatikan aspek keselamatan dan keamanan, sehingga tidak

menimbulkan gangguan bagi lingkungan maupun aktivitas masyarakat di sekitarnya.

4.2 Tata letak pabrik

Tata letak pabrik merupakan suatu kegiatan perencanaan dan pengintegrasian aliran komponen produksi dalam suatu fasilitas industri, sehingga tercapai hubungan yang efisien dan efektif antara tenaga kerja, peralatan, serta perpindahan material mulai dari bahan baku hingga menjadi produk akhir. Tata letak pabrik mencakup penentuan posisi seluruh elemen fasilitas, meliputi area operasi peralatan, ruang kerja karyawan, fasilitas penyimpanan, unit utilitas, serta sarana penunjang lainnya. Dalam perancangannya, diperlukan pertimbangan yang komprehensif, antara lain aspek ekonomi (biaya investasi dan operasional), kebutuhan proses produksi, keselamatan dan kesehatan kerja, serta kemungkinan pengembangan di masa yang akan datang. Tata letak alat-alat proses harus dirancang sedemikian rupa sehingga:

1. Kelancaran proses produksi lebih terjamin
2. Dapat mengefektifkan penggunaan luas lantai
3. Biaya material handling menjadi lebih rendah dan menyebabkan turunnya/terhindarnya pengeluaran untuk hal-hal yang tidak penting
4. Jika tata letak peralatan diatur sesuai dengan urutan-urutan proses maka proses produksi akan lancar, sehingga perusahaan tidak perlu membeli alat angkut tambahan sehingga lebih efisien

5. Karyawan mendapatkan kenyamanan dalam bekerja sehingga akan meningkatkan semangat kerja yang menyebabkan meningkatnya produktivitas kerja.

Hal yang harus diperhatikan juga:

1. Letak alat dalam ruangan yang cukup sehingga tersedia ruang gerak untuk keperluan perawatan, perbaikan maupun penggantian alat.
2. Pengaturan tata letak diusahakan menurut urutan proses.
3. Penempatan alat control atau alat bantu pada alat maupun pipa aliran proses dapat terjangkau atau dapat terlihat jelas untuk pengawasan proses.

Desain yang rasional harus memasukkan unsur lahan proses, storage (persediaan) dan lahan alternatif (*areal handling*) dalam posisi yang efisien dan dengan mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut (Timmerhaus,2004).

a) Urutan proses produksi.
b) Pengembangan lokasi baru atau penambahan/perluasan lokasi yang belum dikembangkan pada masa yang akan datang.
c) Distribusi ekonomis pada pengadaan air, steam proses, tenaga listrik dan bahan baku.
d) Pemeliharaan dan perbaikan.
e) Keamanan (*safety*) terutama dari kemungkinan kebakaran dan keselamatan kerja.
f) Bangunan yang meliputi luas bangunan, kondisi bangunan dan konstruksinya yang memenuhi syarat.

g) Fleksibilitas dalam perencanaan tata letak pabrik dengan mempertimbangkan kemungkinan perubahan dari proses/mesin, sehingga perubahan-perubahan yang dilakukan tidak memerlukan biaya yang tinggi.
h) Masalah pembuangan limbah cair.
i) *Service* area, seperti kantin, tempat parkir, ruang ibadah, dan sebagainya diatur sedemikian rupa sehingga tidak terlalu jauh dari tempat kerja.

Pengaturan tata letak pabrik yang baik akan memberikan beberapa keuntungan, seperti (Timmerhaus, 2004):

a) Mengurangi jarak transportasi bahan baku dan produksi, sehingga mengurangi material handling.
b) Memberikan ruang gerak yang lebih leluasa sehingga mempermudah perbaikan mesin dan peralatan yang rusak atau di-*blowdown.*
c) Mengurangi biaya produksi.
d) Meningkatkan keselamatan kerja.
e) Mengurangi kerja seminimum mungkin.
f) Meningkatkan pengawasan operasi dan proses agar lebih baik.

Fasilitas pabrik tidak hanya terbatas pada peralatan utama atau mesin produksi, tetapi juga mencakup area penunjang yang berperan penting dalam kelancaran operasional. Area tersebut meliputi fasilitas penerimaan bahan baku, area bongkar muat, unit pemeliharaan, gudang penyimpanan, serta sarana pendukung lainnya. Selain itu, aspek keselamatan dan kesehatan kerja harus menjadi pertimbangan utama dalam perancangan tata letak pabrik. Oleh karena

itu, perencanaan tata letak tidak hanya difokuskan pada bagian dalam gedung, tetapi juga mencakup pengaturan area luar pabrik secara menyeluruh guna menjamin keamanan, kenyamanan, dan efisiensi operasional. Hal-hal yang diperlukan diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik adalah:

a) Perluasan Pabrik

Perluasan pabrik ini harus sudah masuk dalam perhitungan sejak dalam perancangan pabrik. Hal ini ditujukan agar masalah kebutuhan tempat di kemudian hari tidak dipermasalahkan. Sejumlah area khusus sudah disiapkan untuk dipakai sebagai perluasan pabrik, penambahan peralatan dan peningkatan kapasitas pabrik.

b) Keamanan

Keamanan terhadap kemungkinan adanya bahaya kebakaran,ledakan, asap/gas beracun harus benar-benar diperhatikan dalam penentuan tata letak pabrik. Untuk itu harus dilakukan penempatan alat-alat pengaman seperti hydrant, penampungan air yang cukup serta penahan ledakan. Tangki penyimpanan produk yang berbahaya harus diletakan di area khusus serta perlu adanya jarak antara bangunan yang satu dengan yang lainnya guna memberikan pertolongan dan menyediakan jalan bagi para karyawan untuk menyelamatkan diri di saat terjadinya keadaan darurat.

c) Luas Area Yang Tersedia

Harga tanah yang menjadi hal yang membatasi kemampuan penyedia area. Pemakaian tempat disesuaikan dengan area yang tersedia.

Jika harga tanah terlalu tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan hinngga peralatan tertentu diletakkan diatas peralatan yang lain ataupun lantai ruangan diatur sedemikian rupa agar menghemat tempat.

d) Bangunan

Bangunan yang ada secara fisik harus memenuhi standar dan perlengkapan yang menyertainya seperti ventilasi, instalasi, dan lain-lainnya tersedia dan memenuhi syarat.

e) Instalasi dan Utilitas

Pemasangan dan distribusi yang baik dari gas, steam dan listrik akan membantu kemudahan kerja dan perawatannya. Penempatan alat proses diatur sedemikian rupa sehingga karyawan dapat dengan mudah mencapainya dan dapat menjamin kelancaran operasi serta memudahkan dalam perawatannya.

f) Jaringan Jalan Raya

Untuk pengangkutan bahan, keperluan perbaikan, pemeliharaan dan keselamatan kerja, maka di antara daerah proses dibuat jalan yang cukup untuk memudahkan mobil keluar masuk, sehingga bila terjadi suatu bencana maka tidak akan mengalami kesulitan dalam menanggulanginya. Secara garis besar tata letak pabrik dibagi dalam beberapa daerah utama, yaitu:

1. Daerah Administrasi/Perkantoran, Laboratorium Dan Fasilitas Pendukung. Area ini terdiri dari:

- Daerah administrasi sebagai pusat kegiatan administrasi dan keungan pabrik
- Laboratorium sebagai pusat kontrol kualitas bahan baku dan produk
- Fasilitas - fasilitas bagi karyawan seperti: poliklinik, kantin, aula dan masjid.

2. Daerah Proses Dan Perluasan

   Merupakan daerah tempat alat-alat proses diletakkan dan proses berlangsung. Ruang kontrol sebagai pusat pengendalian berlangsungnya proses.

3. Daerah Pergudangan Umum, Bengkel Dan Garasi
4. Daerah Utilitas Dan Pemadam Kebakaran

   Merupakan lokasi pusat kegiatan penyediaan air, steam, air pendingin dan tenaga listrik disediakan guna menunjang jalannya proses serta unit pemadam kebakaran.

5. Daerah pengolahan limbah

   Merupakan daerah pembuangan dan pengolahan limbah hasil proses produksi.

Pendirian pabrik fosgen ini direncanakan di bangun pada lahan seluas 2,5 ha dengan ukuran 25.000 m^2. Tata letak pabrik dapat dilihat pada Gambar (4.3) Sedangkan rinciannya dapat dilihat pada Tabel (4.1).

Tabel 4.1 Perincian Luas tanah dan bangunan pabrik

Lokasi	**Luas, m^2**
Luas Tanah	25,000
Area Proses	3,000
Kantor Utama	1,200
Mushola	80
Kantin	80
Koperasi	100
Parkiran Tamu	100
Parkiran Karyawan	100
Klinik	100
Gudang	150
Pos Satpam 1	15
Pos Satpam 2	15
Laboratorium	450
Ruang *Control Proses*	450
Area Utilitas	1,600
Power Plant	1,800
Fire Station	150
Kantor Teknik dan Produksi	750
Unit Pengolahan Limbah	1,000
Area Perluasan	7,200
Taman	40
Luas Bangunan	18,380

OBJ

Skala 1:500

Gambar 4.3 Tata Letak Pabrik

4.3 Tata Letak Mesin/ Alat Proses (*Machines Layout*)

Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Aliran Bahan Baku Dan Produk

   Jalannya aliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar, serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi.

2. Aliran Udara

   Aliran udara didalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan kelancarannya. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat berupa penumpukan atau akumulasi bahan kimia berbahaya yang dapat membahayakan keselamatan pekerja, selain itu perlu memperhatikan arah hembusan angin.

3. Pencahayaan

   Penerangan seluruh pabrik harus memadai. Pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi harus diberi penerangan tambahan.

4. Lalu Lintas Manusia Dan Kendaraan

   Dalam perancangan *layout* peralatan, perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah agar

apabila terjadi gangguan pada alat proses dapat segera diperbaiki, selain itu keamanan pekerja selama menjalankan tugasnya perlu diprioritaskan.

5. Pertimbangan Ekonomi

   Dalam menempatkan alat-alat proses pada pabrik diusahakan agar dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik sehingga dapat menggantungkan dari segi ekonomi.

6. Jarak Antara Alat Proses

   Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lain. Sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat proses lainnya. Tata letak alat proses harus dirancang sedemikian rupa sehingga:

   a. Kelancaran proses produksi dapat terjamin
   b. Dapat mengefektifkan penggunaan luas tanah.
   c. Biaya material handing menjadi rendah, sehingga menyebabkan menurunnya pengeluaran untuk capital yang tidak penting.
   d. Jika tata letak peralatan proses sedemikian rupa sehingga urutan proses produksi lancar, maka perusahaan tidak perlu untuk memakai alat angkut dengan biaya mahal.
   e. Karyawan mendapat kepuasan kerja

7. *Maintenance*

   Maintenance berguna untuk menjaga sarana dan fasilitas peralatan pabrik dengan cara pemeliharaan dan perbaikan alat agar produksi dapat

berjalan dengan lancar dan produktivitas menjadi tinggi sehingga akan tercapai target produksi dan spesifikasi bahan baku yang diharapkan.

Perawatan preventif dilakukan setiap hari untuk menjaga dari kerusakan alat dan kebersihan lingkungan alat. Sedangkan perawatan periodik dilakukan secara terjadwal sesuai dengan buku petunjuk yang ada. Penjadwalan tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga alat-alat mendapat perawatan khusus secara bergantian. Alat-alat berproduksi secara kontinyu dan akan berhenti jika terjadi kerusakan.

Perawatan alat-alat proses dilakukan dengan prosedur yang tepat. Hal ini dapat dilihat dari penjadwalan yang dilakukan pada setiap alat. Perawatan mesin tiap-tiap alat meliputi:

1. *Over head* 1x1 Tahun

   Merupakan perbaikan dan pengecekan serta *leveling* alat secara keseluruhan meliputi pembongkaran alat, pergantian bagian-bagian alat yang sudah rusak, kemudian kondisi alat dikembalikan seperti kondisi semula.

2. *Repairing*

   Merupakan kegiatan *maintenance* yang bersifat memperbaiki bagian bagian alat. Hal ini biasanya dilakukan setelah pemeriksaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi *maintenance*:

   a. Umur Alat

      Semakin tua umur suatu peralatan, kebutuhan terhadap kegiatan pemeliharaan cenderung meningkat guna menjaga kinerja

dan keandalannya. Hal ini berdampak pada meningkatnya biaya perawatan yang harus dikeluarkan selama masa operasi

b. Bahan Baku

Penggunaan bahan baku dengan kualitas yang tidak memenuhi spesifikasi dapat menyebabkan peningkatan potensi kerusakan pada peralatan proses. Sehingga frekuensi kegiatan pembersihan dan pemeliharaan menjadi lebih tinggi.

c. Tenaga Manusia

Pemanfaatan tenaga kerja yang terdidik, terlatih, dan berpengalaman akan meningkatkan kualitas serta efektivitas pelaksanaan pekerjaan sesuai standar yang ditetapkan.

Skala 1:200

Gambar 4.4 Tata Letak Area Proses

Keterangan:

T-01 : Tangki Penyimpanan Gas CO

T-02 : Tangki Penyimpanan Gas Cl_2

T-03 : Tangki Penyimpanan $COCl_2$

R-01 : Reaktor

CDP-01 : *Condensor Parsial* – 01

CDP-02 : *Condensor Parsial* - 02

SP-01 : Separator – 01

SP-02 : Separator - 02

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Mengingat bahwa pengelolaan pabrik fosgen berbahan baku karbon monoksida dan klorin memerlukan sistem manajemen yang terorganisasi dengan baik, maka diperlukan suatu struktur organisasi yang sistematis agar pembagian tugas, wewenang dan tanggung jawab dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Bentuk perusahaan yang direncanakan untuk pabrik fosgen dari karbon monoksida dan klorin adalah Perseroan Terbatas (PT). perseroan terbatas merupakan bentuk perusahaan yang modal awalnya diperoleh dari penjualan saham, dimana tiap pemegang saham turut mengambil bagian sebanyak satu saham atau lebih. Saham adalah

surat berharga yang dikeluarkan oleh perusahaan atau PT tersebut dan orang yang memiliki saham berarti telah menyetorkan modal ke perusahaan yang berarti juga ikut memiliki perusahaan. Direncanakan mempunyai klasifikasi berikut:

Bentuk Perusahaan : Perseroan Terbatas (PT)

Kapasitas Produksi : 34.000 ton/tahun

Lapangan Usaha : Memproduksi Fosgen

Letak : Bojonegara, Kota Cilegon

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas, Perseroan Terbatas merupakan badan hukum yang didirikan berdasarkan suatu perjanjian untuk menjalankan kegiatan usaha dengan modal dasar yang seluruhnya terbagi dalam saham. Saham merupakan surat berharga yang diterbitkan oleh perusahaan dan dimiliki oleh para pemegang saham sebagai bukti penyertaan modal sekaligus sebagai tanda kepemilikan atas perusahaan tersebut.

Dalam struktur perusahaan yang berbentuk Perseroan Terbatas, para pemegang saham memiliki kewajiban terbatas pada penyetoran modal sesuai dengan jumlah saham yang dimilikinya. Adapun pengelolaan kegiatan operasional perusahaan dilakukan oleh direksi yang bertanggung jawab kepada para pemegang saham melalui dewan komisaris. Dengan adanya pemisahan antara pemilik perusahaan dan pengelola perusahaan, maka kegiatan operasional dapat dijalankan secara lebih profesional.

Adapun beberapa pertimbangan yang mendasari pemilihan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dalam pendirian pabrik biodiesel ini antara lain sebagai berikut:

a. Kemudahan dalam memperoleh modal, baik melalui penjualan saham perusahaan kepada investor maupun melalui pinjaman dari lembaga perbankan.
b. Pengelolaan operasional perusahaan yang lebih profesional, karena kegiatan operasional dijalankan oleh pengurus perusahaan, sedangkan tanggung jawab pemegang saham terbatas pada modal yang disetorkan.
c. Adanya pemisahan yang jelas antara kepemilikan dan pengelolaan perusahaan, di mana pemegang saham bertindak sebagai pemilik perusahaan, sedangkan pengelolaan perusahaan dilakukan oleh direksi beserta stafnya yang berada di bawah pengawasan dewan komisaris. Hal ini dapat menjamin keberlangsungan perusahaan dalam jangka panjang.
d. Efisiensi dalam sistem manajemen, karena para pemegang saham dapat menunjuk individu yang memiliki kompetensi, keahlian, serta pengalaman yang memadai untuk menduduki jabatan sebagai dewan komisaris maupun direktur utama.
e. Kesempatan untuk memperluas kegiatan usaha, karena perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas memiliki kemampuan untuk

menghimpun modal yang relatif besar dari masyarakat sehingga dapat digunakan untuk pengembangan usaha di masa mendatang.

f. Kemudahan dalam memperoleh fasilitas kredit dari lembaga perbankan, karena perusahaan memiliki aset yang dapat dijadikan sebagai jaminan dalam memperoleh pembiayaan.

4.4.2 Struktur Organisasi

Pembentukan suatu perusahaan memerlukan susunan organisasi yang terstruktur dan selaras dengan sistem manajemen yang diterapkan, sehingga pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab dalam pengelolaan perusahaan dapat dilaksanakan secara jelas, terarah, dan sistematis. Oleh karena itu, diperlukan suatu struktur organisasi yang tersusun dengan baik guna menunjang efektivitas dan efisiensi pelaksanaan kegiatan operasional perusahaan.

Setiap perusahaan pada umumnya memiliki bentuk struktur organisasi yang berbeda-beda, yang disesuaikan dengan karakteristik usaha, skala kegiatan, serta kebutuhan manajerial perusahaan tersebut. Dengan adanya struktur organisasi yang jelas, perusahaan dapat lebih mudah dalam mengatur pembagian unit kerja, jabatan, fungsi, serta hierarki wewenang dan tanggung jawab dari setiap bagian yang terdapat di dalam organisasi.

Dalam pelaksanaan kegiatan organisasi perusahaan, terdapat dua kelompok utama yang berperan dalam menjalankan fungsi manajemen, yaitu sebagai berikut:

a. Sebagai ahli atau *line*, yaitu pihak yang memiliki kewenangan dan tanggung jawab langsung dalam melaksanakan tugas pokok organisasi guna mencapai tujuan perusahaan.
b. Sebagai staff, yaitu tenaga kerja yang memiliki keahlian khusus dan berfungsi memberikan saran, pertimbangan, maupun dukungan teknis kepada unit operasional dalam menjalankan aktivitas perusahaan.

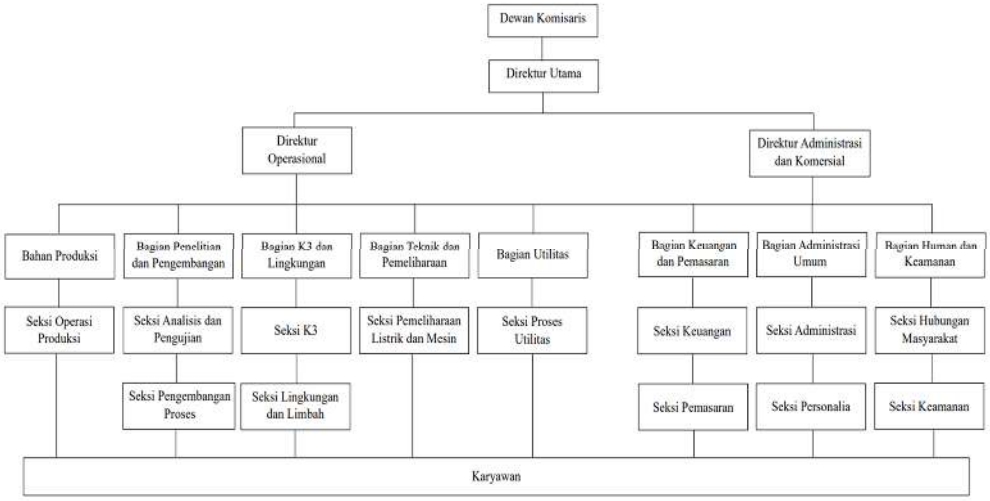
Pemilik perusahaan yang terdiri dari para pemegang saham menunjuk direksi untuk menjalankan dan mengelola kegiatan operasional perusahaan sehari-hari. Direksi bertanggung jawab terhadap pengelolaan perusahaan secara menyeluruh serta memastikan bahwa seluruh kegiatan operasional berjalan sesuai dengan kebijakan perusahaan dan tujuan yang telah ditetapkan.

Dalam pelaksanaan tugasnya, direksi dibantu oleh beberapa manajer yang bertanggung jawab pada bidang masing-masing. Direktur operasional bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berkaitan dengan proses produksi, penelitian dan pengembangan, K3 dan lingkungan, teknik dan pemeliharaan, utilitas. Sementara itu, direktur administrasi komersial bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berkaitan dengan pengelolaan keuangan dan pemasaran, administrasi umum, human dan keamanan.

Untuk menunjang kelancaran kegiatan operasional dan proses produksi, perusahaan memerlukan tenaga kerja yang memiliki keterampilan, kompetensi, serta keahlian di bidangnya masing-masing. Karyawan yang kompeten diharapkan mampu memberikan kontribusi berupa gagasan, inovasi, maupun masukan kepada manajemen perusahaan guna mendukung tercapainya tujuan perusahaan secara efektif dan berkelanjutan.

Adapun manfaat dari adanya struktur organisasi dalam suatu perusahaan antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan kejelasan mengenai pembagian tugas, tanggung jawab, dan wewenang setiap bagian dalam organisasi.
2. Menjadi pedoman bagi pimpinan maupun karyawan dalam melaksanakan tugas dan fungsi masing-masing.
3. Mempermudah proses penempatan pegawai sesuai dengan kompetensi dan keahlian yang dimiliki.
4. Mendukung penyusunan rencana pengembangan manajemen perusahaan secara lebih sistematis.
5. Memudahkan proses evaluasi serta perbaikan terhadap sistem kerja dan prosedur operasional apabila ditemukan ketidakefisienan dalam pelaksanaannya.



Gambar 5.5 Struktur Organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

1. Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)

   Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) merupakan organ perusahaan yang memiliki kedudukan tertinggi dalam struktur organisasi perusahaan. RUPS terdiri dari para pemegang saham yang memiliki kepentingan terhadap perusahaan dan berwenang dalam menentukan kebijakan utama perusahaan. Keberadaan RUPS diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas, yang menyatakan bahwa RUPS memiliki kewenangan yang tidak diberikan kepada direksi maupun dewan komisaris. RUPS memiliki hak dan wewenang sebagai berikut:

   a. Mengangkat dan memberhentikan anggota direksi dan dewan komisaris.

b. Menetapkan kebijakan umum serta tujuan jangka panjang perusahaan.
c. Menyetujui hasil kerja dan laporan keuangan yang disusun oleh direksi.
d. Memberikan izin untuk melakukan penggabungan, peleburan, pengambil alihan, atau pembubaran perseroan.

2. Dewan Komisaris

Secara umum, tugas dan tanggung jawab Dewan Komisaris adalah melakukan pengawasan dan memberikan nasihat kepada Direksi terkait pengelolaan perusahaan. Dewan Komisaris bertindak untuk kepentingan perusahaan, sesuai dengan maksud dan tujuan perusahaan. Dewan Komisaris melakukan pengawasan terhadap kebijakan perusahaan, ketentuan Anggaran Dasar, keputusan RUPS, dan memastikan kepatuhan perusahaan terhadap regulasi yang berlaku.

a. Mengkaji, mengevaluasi dan memberikan rekomendasi kepada Direksi berkaitan dengan penyusunan visi, misi, perubahan Anggaran Dasar, dan rencana-rencana strategis perusahaan lainnya, seperti diatur dalam Anggaran Dasar.
b. Mengawasi pelaksanaan kegiatan yang dilakukan oleh seluruh direktur dan bagian di bawahnya.
c. Memberikan dukungan dan pertimbangan kepada Direktur Utama dalam pengambilan keputusan yang bersifat strategis.

3. Direktur Utama

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi dalam manajemen perusahaan yang bertanggung jawab atas pengelolaan dan pengendalian seluruh kegiatan operasional perusahaan. Direktur utama memiliki peran dalam mengarahkan serta mengkoordinasikan seluruh kegiatan perusahaan agar berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Dalam melaksanakan tugasnya, direktur utama membawahi Direktur Teknik dan Produksi, Direktur Umum dan Keuangan, serta dibantu oleh sekretaris yang membantu dalam kegiatan administrasi dan koordinasi perusahaan.

Tugas-tugas Direktur Utama:

1. Memimpin dan mengkoordinasikan seluruh kegiatan operasional perusahaan agar berjalan secara efektif dan efisien.
2. Menetapkan kebijakan operasional perusahaan yang berkaitan dengan kegiatan produksi, pemasaran, administrasi, dan keuangan.
3. Mengkoordinasikan kegiatan antar bagian dalam perusahaan agar seluruh kegiatan berjalan secara terpadu.
4. Merumuskan kan melaksanakan kebijakan umum pabrik sesuai dengan kebijakan RUPS.
5. Menjalin hubungan kerja sama dengan pihak eksternal yang berkaitan dengan kegiatan perusahaan.

Dalam melaksanakan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh sekretaris yang bertugas membantu kegiatan administrasi, mengatur

jadwal rapat, serta mengelola dokumentasi perusahaan sehingga kegiatan manajemen perusahaan dapat berjalan dengan lebih terorganisir. Direktur utama dalam menjalankan pengelolaan perusahaan membawahi dua direktur utama pada bidang operasional dan manajemen perusahaan, yaitu direktur operasional serta direktur komersial. Kedua direktur tersebut memiliki tanggung jawab yang berbeda sesuai dengan bidang masing-masing.

4. Direktur Operasional

   Direktur Operasional memiliki tugas dan wewenang dalam merumuskan kebijakan operasional perusahaan serta memastikan seluruh kegiatan produksi, utilitas, teknik, dan pemeliharaan berjalan secara efektif dan efisien. Selain itu, Direktur Operasional bertanggung jawab dalam mengawasi keberlangsungan proses produksi, pengendalian mutu, serta penerapan standar keselamatan dan lingkungan kerja. Dalam pelaksanaannya, Direktur Operasional membawahi beberapa bagian, antara lain Bagian Produksi, Bagian Penelitian dan Pengembangan, Bagian K3 dan Lingkungan, Bagian Teknik dan Pemeliharaan, serta Bagian Utilitas.

5. Direktur Administrasi & Komersial

   Direktur Administrasi dan Komersial memiliki tugas dan wewenang dalam mengelola aspek administrasi perusahaan serta menyusun dan melaksanakan strategi komersial yang meliputi keuangan, pemasaran, dan hubungan eksternal. Direktur ini

bertanggung jawab dalam pengelolaan anggaran, pengendalian keuangan, serta pengembangan kebijakan pemasaran guna meningkatkan daya saing perusahaan. Dalam menjalankan fungsinya, Direktur Administrasi dan Komersial membawahi beberapa bagian, antara lain Bagian Keuangan dan Pemasaran, Bagian Administrasi Umum, serta Bagian Hukum dan Keamanan.

6. Kepala Bagian

Kepala bagian merupakan pimpinan unit kerja yang bertanggung jawab dalam mengelola, mengkoordinasikan, serta mengawasi kegiatan operasional pada bidangnya masing-masing. Kepala bagian bertugas memastikan setiap kegiatan di dalam bagiannya berjalan sesuai dengan rencana kerja perusahaan, serta melaporkan hasil pelaksanaan kegiatan kepada direktur yang membawahinya. Kepala bagian mencakup:

a. Bagian Produksi

Bertanggung jawab terhadap pelaksanaan kegiatan produksi agar berjalan sesuai dengan target kapasitas, mutu, dan efisiensi yang telah ditetapkan. Selain itu, bagian ini mengawasi proses operasi produksi serta memastikan penggunaan bahan baku dan utilitas dilakukan secara optimal.

b. Bagian Penelitian dan Pengembangan

Bertanggung jawab dalam melakukan penelitian serta pengembangan proses guna meningkatkan kualitas produk dan

efisiensi produksi. Bagian ini juga berperan dalam inovasi teknologi serta pengujian untuk mendukung keberlanjutan operasional perusahaan.

c. Bagian K3 dan Lingkungan

Bertanggung jawab dalam penerapan sistem keselamatan dan kesehatan kerja serta pengelolaan lingkungan di area pabrik. Selain itu, bagian ini mengawasi kepatuhan terhadap peraturan K3 dan lingkungan yang berlaku serta melakukan evaluasi risiko kerja.

d. Bagian Teknik dan Pemeliharaan

Bertanggung jawab terhadap kegiatan pemeliharaan, perbaikan, dan keandalan peralatan serta fasilitas produksi. Bagian ini juga memastikan seluruh mesin dan peralatan beroperasi dengan baik untuk mendukung kelancaran proses produksi.

e. Bagian Utilitas

Bertanggung jawab dalam penyediaan dan pengelolaan utilitas seperti air, listrik, uap, dan bahan bakar yang dibutuhkan dalam proses produksi. Selain itu, bagian ini memastikan distribusi utilitas berjalan secara kontinu dan efisien.

f. Bagian Keuangan dan Pemasaran

Bertanggung jawab dalam pengelolaan keuangan perusahaan, termasuk perencanaan anggaran dan pengendalian biaya. Di samping itu, bagian ini melaksanakan kegiatan pemasaran serta strategi penjualan untuk meningkatkan pendapatan perusahaan.

g. Bagian Administrasi Umum

Bertanggung jawab dalam pengelolaan administrasi, dokumentasi, serta kegiatan perkantoran perusahaan. Bagian ini juga mengoordinasikan kebutuhan operasional non-teknis guna mendukung kelancaran aktivitas perusahaan.

h. Bagian Human dan Keamanan

Bertanggung jawab dalam menangani aspek hukum perusahaan serta memastikan kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku. Selain itu, bagian ini mengelola sistem keamanan untuk melindungi aset, karyawan, dan lingkungan kerja perusahaan.

7. Kepala Seksi

Kepala seksi merupakan pimpinan unit kerja yang berada di bawah kepala bagian dan bertanggung jawab dalam melaksanakan serta mengawasi kegiatan operasional pada bidang yang lebih spesifik. Kepala seksi bertugas memastikan setiap pekerjaan pada bagiannya dapat berjalan dengan baik sesuai dengan rencana kerja yang telah ditetapkan oleh kepala bagian. Selain itu, kepala seksi juga bertanggung jawab dalam mengkoordinasikan para pekerja atau staf di bawahnya agar kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan secara efektif dan efisien. Kepala seksi mencakup:

a. Seksi Operasi Produksi

Bertanggung jawab dalam menjalankan kegiatan operasi produksi sehari-hari sesuai dengan prosedur dan standar yang

telah ditetapkan. Selain itu, seksi ini memastikan kelancaran proses produksi serta melakukan pengendalian terhadap parameter operasi agar tetap stabil.

b. Seksi Analisis dan Pengujian

Bertanggung jawab dalam melakukan analisis laboratorium terhadap bahan baku, produk antara, dan produk akhir guna menjamin mutu produk. Seksi ini juga melakukan pengujian secara berkala untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

c. Seksi Pengembangan Proses

Bertanggung jawab dalam melakukan evaluasi dan pengembangan proses produksi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas. Selain itu, seksi ini berperan dalam melakukan inovasi serta perbaikan berkelanjutan terhadap sistem produksi.

d. Seksi K3

Bertanggung jawab dalam penerapan program keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan perusahaan. Seksi ini juga melakukan sosialisasi, pengawasan, serta evaluasi terhadap pelaksanaan prosedur K3.

e. Seksi Lingkungan dan Limbah

Bertanggung jawab dalam pengelolaan limbah hasil proses produksi agar sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku. Selain itu, seksi ini mengawasi dampak lingkungan

serta memastikan kegiatan operasional tidak mencemari lingkungan.

f. Seksi Pemeliharaan Listrik & Mesin

Bertanggung jawab dalam pemeliharaan dan perbaikan peralatan listrik serta mesin produksi. Seksi ini juga memastikan seluruh peralatan dapat beroperasi dengan baik untuk mendukung kelancaran proses produksi.

g. Seksi Proses Utilitas

Bertanggung jawab dalam pengoperasian dan pengendalian sistem utilitas seperti air, uap, dan listrik. Selain itu, seksi ini memastikan ketersediaan utilitas secara kontinu sesuai kebutuhan produksi.

h. Seksi Keuangan

Bertanggung jawab dalam pengelolaan transaksi keuangan, pencatatan, serta penyusunan laporan keuangan perusahaan. Seksi ini juga melakukan pengendalian terhadap arus kas agar tetap stabil dan terencana.

i. Seksi Pemasaran

Bertanggung jawab dalam melaksanakan kegiatan pemasaran dan penjualan produk perusahaan. Selain itu, seksi ini melakukan analisis pasar serta menyusun strategi untuk meningkatkan daya saing produk.

j. Seksi Administrasi

Bertanggung jawab dalam pengelolaan administrasi dan dokumentasi perusahaan secara tertib dan sistematis. Seksi ini juga mendukung kelancaran kegiatan operasional melalui penyediaan layanan administrasi.

k. Seksi Personalia

Bertanggung jawab dalam pengelolaan sumber daya manusia, termasuk rekrutmen, pelatihan, dan pengembangan karyawan. Selain itu, seksi ini mengatur administrasi kepegawaian serta kesejahteraan karyawan.

l. Seksi Hubungan Masyarakat

Bertanggung jawab dalam menjalin dan menjaga hubungan baik antara perusahaan dengan masyarakat dan pihak eksternal. Seksi ini juga mengelola komunikasi publik serta citra perusahaan.

m. Seksi Keamanan

Bertanggung jawab dalam menjaga keamanan lingkungan perusahaan, termasuk aset, karyawan, dan fasilitas. Selain itu, seksi ini melakukan pengawasan serta tindakan preventif terhadap potensi gangguan keamanan.

4.4.4 Pengaturan Jam Kerja

Pabrik fosgen dari karbon monoksida dan klorin direncanakan beroperasi secara kontinu selama 24 jam setiap hari. Jumlah hari operasi dalam satu tahun ditetapkan sebanyak 330 hari, sedangkan sisa hari lainnya dimanfaatkan untuk kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan pabrik. Adapun ketentuan hari kerja karyawan adalah sebagai berikut:

1. Cuti Tahunan

   Setiap karyawan berhak memperoleh cuti tahunan selama 12 hari dalam satu tahun. Apabila dalam jangka waktu satu tahun cuti tersebut tidak digunakan, maka hak cuti tersebut tidak dapat digunakan pada tahun berikutnya.

2. Hari Libur Nasional

   Bagi karyawan *non-shift*, hari libur nasional merupakan hari tidak bekerja. Namun bagi karyawan *shift*, kegiatan kerja tetap berlangsung pada hari libur nasional, dengan ketentuan bahwa waktu kerja pada hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*).

3. Kerja Lembur (*Overtime*)

   Kerja lembur dilaksanakan apabila terdapat pekerjaan yang bersifat mendesak dan memerlukan penyelesaian segera, serta harus mendapatkan persetujuan dari kepala bagian yang bersangkutan.

Dalam pelaksanaannya, karyawan di perusahaan dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu karyawan *shift* dan karyawan *non-shift*.

a. Jadwal Kerja *Non-Shift*

Karyawan *non-shift* merupakan karyawan yang tidak terlibat secara langsung dalam kegiatan proses produksi, seperti bagian administrasi, gudang, dan bagian lainnya yang bersifat perkantoran. Karyawan *non-shift* bekerja selama 5 hari dalam satu minggu dengan total waktu kerja 40 jam per minggu, sedangkan hari Sabtu, Minggu, dan hari libur nasional ditetapkan sebagai hari libur.

Karyawan yang termasuk dalam kelompok *non-shift* antara lain Direktur Utama, DirekturF Operasional, Direktur Administrasi Komersial, kepala bagian, serta staf yang bekerja di lingkungan perkantoran. Adapun rincian jam kerja karyawan *non-shift* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Jam Kerja Karyawan *Non-Shift*

Hari	**Jam Kerja**	**Jam Istirahat**
Senin - Kamis	07.00 - 16.00	12.00 – 13.00
Jum’at	07.00 - 16.00	11.0 – 13.00

b. Jadwal Kerja *Shift*

Karyawan *shift* merupakan karyawan yang bekerja pada bagian produksi dan utilitas yang memerlukan pengawasan dan pengoperasian secara terus-menerus selama 24 jam. Sistem kerja *shift* diterapkan agar proses produksi dapat berjalan tanpa henti

sehingga target produksi dapat tercapai. Pengaturan jam kerja karyawan *shift* biasanya dibagi menjadi tiga *shift*, yaitu:

Tabel 4.3 Jam Kerja Karyawan *Shift*

Kelompok Kerja	**Jam Kerja**	**Jam Istirahat**
Shift I	07.00 - 15.00	11.00 – 12.00
Shift II	15.00 - 23.00	19.00 – 20.00
Shift III	23.00 - 07.00	03.00 - 04.00

Sistem kerja *shift* diterapkan pada bagian produksi dan utilitas karena kegiatan operasional pabrik harus berlangsung secara terus-menerus selama 24 jam. Melalui sistem ini, karyawan dibagi ke dalam beberapa kelompok kerja yang bertugas secara bergantian agar proses produksi tetap berjalan tanpa henti dan pengawasan terhadap peralatan serta proses produksi tetap terjaga. Pembagian jam kerja *shift* umumnya terdiri dari tiga *shift*, yaitu *shift* pagi yang berlangsung pada pukul 07.00– 15.00 WIB, *shift* sore pada pukul 15.00–23.00 WIB, dan *shift* malam pada pukul 23.00–07.00 WIB, dengan masing-masing *shift* memiliki waktu kerja selama 8 jam sehingga harus dibentuk 4 kelompok. Sistem pergantian *shift* dilakukan secara bergilir antar kelompok kerja agar pembagian beban kerja menjadi lebih merata serta untuk menjaga kondisi kesehatan dan produktivitas karyawan selama menjalankan tugasnya di lingkungan pabrik. Jadwal kerja tiap kelompok sebagai berikut:

Tabel 4.4 Jadwal Kerja Karyawan *Shift*

Kelompok	Tanggal														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	P	P	P	L	S	S	S	L	M	M	M	L	P	P	P
B	M	M	L	P	P	P	L	S	S	S	L	M	M	M	L
C	S	L	M	M	M	L	P	P	P	L	S	S	S	L	M
D	L	S	S	S	L	M	M	M	L	P	P	P	L	S	S

Tabel 4.5 Lanjutan Jadwal Kerja Karyawan *Shift*

Kelompok	Tanggal														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	L	S	S	S	L	M	M	M	L	P	P	P	L	S	S
B	P	P	P	L	S	S	S	L	M	M	M	L	P	P	P
C	M	M	L	P	P	P	L	S	S	S	L	M	M	M	L
D	S	L	M	M	M	L	P	P	P	L	S	S	S	L	M

Keterangan:

P : *Shift* Pagi (07.00 - 15.00)

S : *Shift* Sore (15.00 - 23.00)

M : *Shift* Malam (23.00 - 07.00)

L : Libur

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Jumlah tenaga kerja ditentukan berdasarkan kebutuhan perusahaan agar setiap pekerjaan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Perincian mengenai jumlah tenaga kerja serta sistem penggajiannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Rincian Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji
1	Dewan Komisaris	1	Rp40.977.748	Rp40.977.748
2	Direktur Utama	1	Rp35.123.784	Rp35.123.784
3	Direktur Operasional	1	Rp35.123.784	Rp35.123.784
4	Direktur Administrasi dan Komersial	1	Rp35.123.784	Rp35.123.784
5	Kepala Bagian Produksi	1	Rp20.488.874	Rp20.488.874
6	Kepala Bagian Penelitian dan Pengembangan	1	Rp19.318.081	Rp19.318.081
7	Kepala Bagian K3 dan Lingkungan	1	Rp19.318.081	Rp19.318.081
8	Kepala Bagian Teknik dan Pemeliharaan	1	Rp20.488.874	Rp20.488.874
9	Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran	1	Rp19.318.081	Rp19.318.081
10	Kepala Bagian Administrasi Umum	1	Rp19.318.081	Rp19.318.081
11	Kepala Bagian Human dan Keamanan	1	Rp19.318.081	Rp19.318.081
12	Kepala Seksi Operasi Produksi	1	Rp14.634.910	Rp14.634.910
13	Kepala Seksi Analisis dan Pengujian	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
14	Kepala Seksi Pengembangan Proses	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
15	Kepala Seksi K3	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117

16	Kepala Seksi Lingkungan dan Limbah	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
17	Kepala Seksi Pemeliharaan Listrik & Mesin	1	Rp14.634.910	Rp14.634.910
18	Kepala Seksi Utilitas	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
19	Kepala Seksi Keuangan	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
20	Kepala Seksi Pemasaran	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
21	Kepala Seksi Administrasi	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
22	Kepala Seksi Personalia	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
23	Kepala Seksi Hubungan Masyarakat	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
24	Kepala Seksi Keamanan	1	Rp13.464.117	Rp13.464.117
25	Karyawan Operasi Produksi	6	Rp7.610.153	Rp45.660.919
26	Karyawan Analisis dan Pengujian	4	Rp6.439.360	Rp25.757.442
27	Karyawan Pengembangan Proses	2	Rp7.610.153	Rp15.220.306
28	Karyawan Seksi K3	2	Rp6.439.360	Rp12.878.721
29	Karyawan Lingkungan dan Limbah	4	Rp6.439.360	Rp25.757.442
30	Karyawan Pemeliharaan Listrik & Mesin	4	Rp7.610.153	Rp30.440.613
31	Karyawan Utilitas	5	Rp6.439.360	Rp32.196.802
32	Karyawan Keuangan	2	Rp6.439.360	Rp12.878.721
33	Karyawan Pemasaran	2	Rp6.439.360	Rp12.878.721
34	Karyawan Administrasi	3	Rp6.439.360	Rp19.318.081
35	Karyawan Personalia	2	Rp6.439.360	Rp12.878.721

36	Karyawan Hubungan Masyarakat	2	Rp6.439.360	Rp12.878.721
37	Karyawan Keamanan	4	Rp6.439.360	Rp25.757.442
38	Operator Proses	12	Rp7.610.153	Rp91.321.838
39	Operator Utilitas	40	Rp7.610.153	Rp304.406.128
40	Operator DCS	4	Rp12.878.721	Rp51.514.883
41	*Engineer* Proses	2	Rp12.878.721	Rp25.757.442
42	*Engineer* Mekanikal/Elektrikal	2	Rp12.878.721	Rp25.757.442
43	Analis Laboratorium	2	Rp12.878.721	Rp25.757.442
44	HSE Officer	2	Rp12.878.721	Rp25.757.442
45	IT Support	1	Rp12.878.721	Rp12.878.721
46	Perawat	2	Rp5.853.964	Rp11.707.928
47	*Security*	4	Rp5.853.964	Rp23.415.856
48	*Cleaning Service*	1	Rp5.853.964	Rp5.853.964
49	Supir	1	Rp5.853.964	Rp5.853.964
50	Dokter	1	Rp8.780.946	Rp8.780.946
Total		140	Rp673.205.860	Rp1.364.559.008

4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

Perusahaan memberikan berbagai fasilitas dan hak kepada karyawan sebagai bentuk perhatian terhadap kesejahteraan tenaga kerja serta untuk meningkatkan semangat kerja dan produktivitas karyawan. Fasilitas dan hak tersebut diberikan sesuai dengan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku serta kebijakan perusahaan. Beberapa fasilitas dan hak yang diberikan kepada karyawan antara lain sebagai berikut:

1. Hak Cuti
    a. Cuti Tahunan

        Setiap karyawan perusahaan berhak memperoleh cuti tahunan selama 12 hari dalam satu tahun. Apabila hak cuti

tersebut tidak digunakan dalam periode satu tahun, maka hak cuti tersebut tidak dapat digunakan pada tahun berikutnya.

b. Cuti Massal

Perusahaan memberikan cuti massal kepada seluruh karyawan setiap tahun yang bertepatan dengan Hari Raya Idul Fitri selama 4 hari kerja.

c. Cuti Melahirkan

Karyawan wanita yang akan melahirkan berhak memperoleh cuti melahirkan selama 3 bulan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

2. Hari Libur Nasional

Perusahaan memberikan hak libur kepada karyawan pada hari-hari besar atau hari libur nasional yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Pemberian libur nasional ini bertujuan untuk memberikan kesempatan kepada karyawan untuk beristirahat serta merayakan hari besar keagamaan maupun hari penting nasional. Namun, bagi karyawan non-shift hari libur nasional merupakan hari tidak bekerja. Sementara itu, karyawan shift tetap menjalankan tugasnya sesuai jadwal kerja yang telah ditetapkan, dengan ketentuan bahwa waktu kerja pada hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*).

3. Kerja Lembur (*Overtime*)

Karyawan yang bekerja melebihi jam kerja normal berhak memperoleh upah lembur sesuai dengan ketentuan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku. Pemberian upah lembur bertujuan sebagai kompensasi atas tambahan waktu kerja yang dilakukan oleh karyawan. Besarnya upah lembur biasanya dihitung berdasarkan 99 jumlah jam kerja tambahan serta mengacu pada ketentuan yang telah ditetapkan oleh pemerintah dan kebijakan perusahaan.

4. Seragam Kerja

Perusahaan menyediakan seragam kerja bagi karyawan yang digunakan selama menjalankan kegiatan kerja di lingkungan pabrik. Pemberian seragam kerja bertujuan untuk menjaga kerapian, memudahkan identifikasi karyawan, serta meningkatkan keselamatan kerja terutama bagi karyawan yang bekerja di area produksi. Seragam kerja biasanya dilengkapi dengan alat pelindung diri (APD) seperti helm keselamatan, sepatu keselamatan, sarung tangan, dan perlengkapan keselamatan lainnya sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

5. Fasilitas Penunjang

Perusahaan juga menyediakan berbagai fasilitas penunjang untuk mendukung kenyamanan dan kesejahteraan karyawan selama bekerja. Fasilitas tersebut antara lain ruang istirahat, kantin karyawan, fasilitas kesehatan atau klinik

perusahaan, tempat ibadah, serta sarana transportasi bagi karyawan tertentu. Penyediaan fasilitas ini bertujuan untuk menciptakan lingkungan kerja yang nyaman dan mendukung kelancaran kegiatan operasional perusahaan.

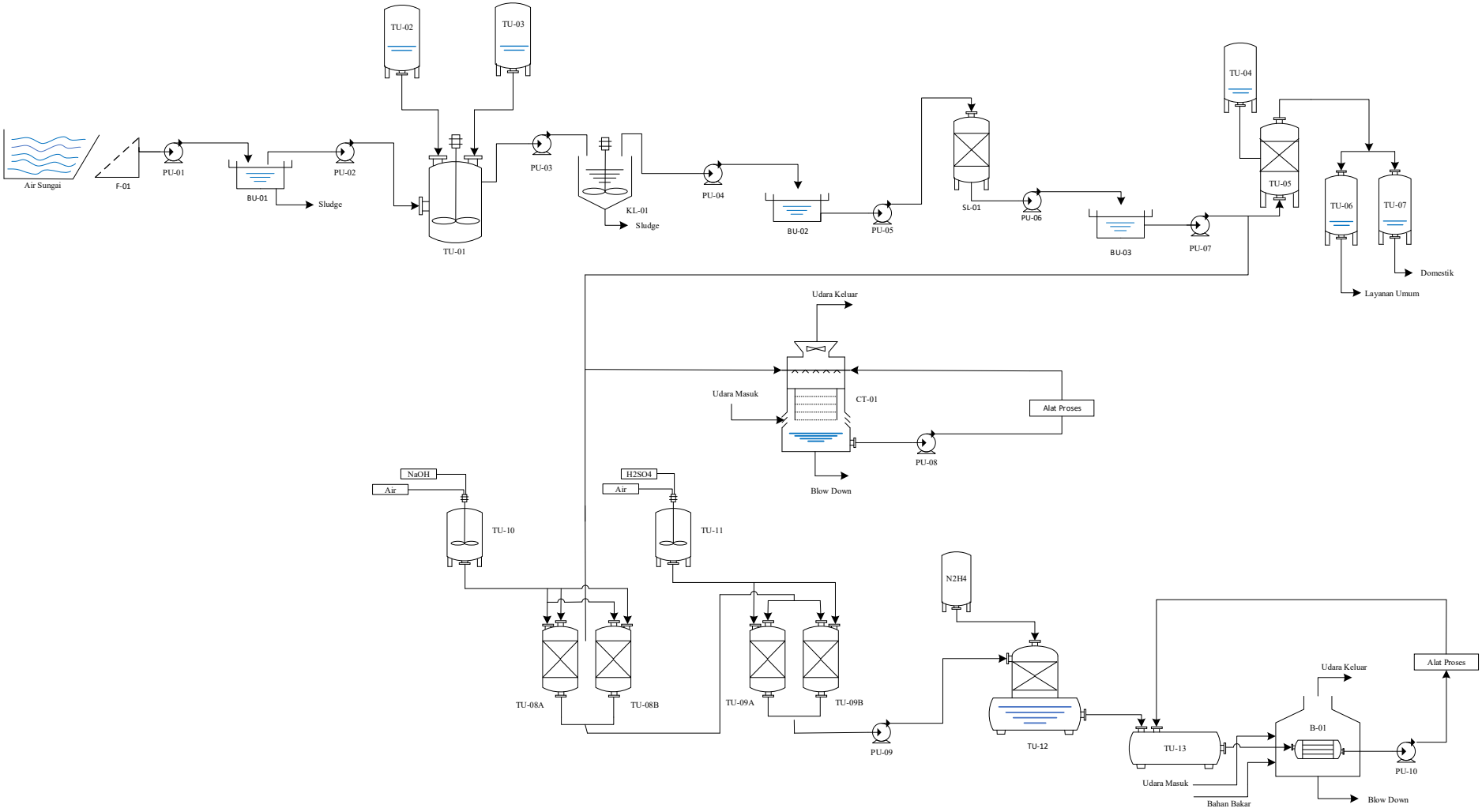
6. Penghargaan Masa Kerja

   Sebagai bentuk apresiasi terhadap loyalitas karyawan, perusahaan memberikan penghargaan masa kerja kepada karyawan 100 yang telah bekerja dalam jangka waktu tertentu. Penghargaan ini dapat berupa sertifikat, bonus, atau bentuk penghargaan lainnya yang diberikan pada periode masa kerja tertentu, misalnya setiap 5 tahun masa kerja. Pemberian penghargaan masa kerja diharapkan dapat meningkatkan motivasi kerja serta mendorong karyawan untuk tetap memberikan kontribusi terbaik bagi perusahaan.

BAB V
UTILITAS

Salah satu aspek yang tidak kalah penting pada suatu pabrik kimia, termasuk pabrik fosgen yaitu utilitas. Utilitas adalah serangkaian unit penunjang yang memiliki fungsi untuk menyediakan semua kebutuhan operasional diluar bahan baku dan bahan pembantu untuk menunjang kelancaran selama proses produksi agar berjalan lancar serta sesuai standar yang telah di tetapkan. Unit utilitas pada sebuah pabrik terdiri dari berbagai macam komponen untuk mendukung kebutuhan operasional. Unit utilitas tersebut terdiri dari:

1. Unit Penyediaan Dan Pengolahan Air (*Water Treatment Unit*)
2. Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generator Unit*)
3. Unit Pembangkit Listrik (*Power Generator/Plant Unit*)
4. Unit Penyedia Udara *Instrument* (*Air Instrument Supply Unit*)
5. Unit Penyedia Bahan Bakar (*Fuel Supply Unit*)
6. Unit Pengolahan Limbah (*Waste Processing Unit)*



Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas

Keterangan:

F-0 : saringan

SL-01 : *Sand Filter*

BU-01 : Bak Pengendapan Awal

BU-02 : Bak Pengendapan 2

BU-03 : Bak Penampungan Air Bersih

CL-01 : Clarifier

CT-01 : *Cooling Tower*

B-01 : Boiler

TU-01 : Tangki Flokulator

TU-02 : Tangki Tawas

TU-03 : Tangki Larutan CaOH

TU-04 : Tangki Kaporit

TU-05 : Tangki Klorinasi

TU-06 : Tangki Air Bersih (Layanan Umum)

TU-07 : Tangki Air Bersih (Kantor dan Rumah Tangga)

TU-08 : Tangki Kation

TU-09 : Tangki Anion

TU-10 : Tangki NaOH

TU-11 : Tangki H_2SO_4

TU-12 : Tangki Dearator

TU-13 : Tangki Kondesat

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Secara umum, pada suatu fasilitas industri kebutuhan air dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti air tanah, air danau, air sungai, dan air laut. Pada perancangan pabrik fosgen kali ini, air yang digunakan yaitu air sungai dari Sungai Wadas yang tidak terlalu jauh jaraknya dari lokasi pabrik. Air tersebut akan diolah untuk berbagai kebutuhan di lingkungan pabrik, yaitu:

1. Kebutuhan Air Domestik

   Menurut standar (WHO, 2020) umumnya untuk kebutuhan domestik yaitu sekitar 100-200 liter/orang/hari. Untuk kebutuhan di industri konsumsi air harian rara-rata pemakaian per individu di angka 100 liter per 104 hari (Howard & Bartram, 2003) dengan jumlah karyawan pabrik sebanyak 140 orang, maka dari itu untuk total kebutuhan air domestik sebanyak 14.000 liter per hari. Kebutuhan tersebut mencakup untuk pemenuhan air minum, kebersihan pribadi, dan sanitasi.

2. Kebutuhan Air *Service*

   Kebutuhan air untuk fasilitas umum seperti, bengkel, poliklinik, laboratorium, mushola, kantin, dan lainnya diperkirakan mencapai 10.800 kg/hari.

3. Kebutuhan Air Pendingin

Air pendingin diperuntukan untuk peralatan yang membutuhkan penurunan suhu. Kebutuhan air pendingin pada pabrik fosgen dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	**Kebutuhan (kg/jam)**
Reaktor	13933,501
Condensor Parsial 01	13028,149
Condensor Parsial 02	17120,627
Total	**44082,278**

Perancangan dibuat *over design* sebesar 20% sehingga menjadi 52.892,73 kg/jam. Pada saat berlangsungnya proses, air pendingin mengalami *blowdown* pada unit *cooling tower* maka diperlukan air *make-up*. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan kebutuhan air *make-up* sebesar 214,234 kg/jam.

4. Kebutuhan Air Pemanas

Air *steam* di pabrik fosgen diperuntukan sebagai media pemanas. Supaya dapat digunakan dalam boiler, air tersebut harus memenuhi kualitas standar tertentu. Jika kualitas air tidak sesuai maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. Oleh karena itu, dilakukan tindakan pencegahan untuk menghindari terjadi masalah seperti *scalling, fouling,* dan *foaming*. Pencegahan tersebut penting dikarenakan untuk memastikan operasi boiler berjalan lancar dan

efisien selain itu, untuk menjaga umur peralatan. Kebutuhan *steam* untuk peralatan pada pabrik fosgen dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.2 Kebutuhan *Steam*

Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
Heater 01	45,374
Heater 02	150,750
Heater 03	1,522
Total	**197,646**

Perancangan dibuat *over design* sebesar 20% sehingga menjadi 237 kg jam. Pada proses berlangsung, air pembangkit steam mengalami *blowdown* sebesar 15% dari kebutuhan *steam* dan *steam trap* sebesar 5%, maka total kehilangan menjadi 20%, maka setelah dilakukan perhitungan kebutuhan air *make-up* yang dibutuhkan sebesar 47,44 kg/jam

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Untuk memenuhi syarat-syarat air yang dapat digunakan didalam industri kimia. Pengelolaan air harus diperhatikan karena air sungai tidak dapat langsung digunakan harus melewati beberapa tahapan. Tahapan tersebut meliputi:

1. *Screening*

   Air dari Sungai dialirkan ke tahapan awal melalui pompa untuk menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti daun, ranting,dan sampah lainnya dipisahkan tanpa menggunakan

bahan kimia. Partikel-partikel kecil yang tersisa diolah lebih lanjut pada tahapan berikutnya. Agar alat penyaring pada proses selanjutnya tetap bekerja efektif maka dipasang saringan di sisi hisap pompa untuk meminimlisir masuknya kotoran.

2. Penggumpalan

Pada tahap ini setelah air disaring dari alat penyaring kemudian dipisahkan dengan cara mengendapkan zat-zat padat atau suspense non-koloid dalam air. Prinsip pemisahan tersebut menggunakan gaya gravitasi sehingga padatan tersebut akan mengendap dengan sendirinya. Koagulan yang digunakan yaitu tawas atau Alumunium Sulfat ($Al_2(SO_4)3$), merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah, sehingga mudah untuk terhidrolisis didalam air yang bersifat basa. Untuk membuat kondisi alkalis serta proses *fluklasi* berjalan secara efektif, maka ditambahkan CaOH yang bersifat untuk mengurangi dan menghilangkan kesadahan karbonat dalam air dan membuat suasana basa serta mempermudah penggumpalan. Proses tersebut memiliki tujuan untuk menggabungkan partikel-partikel menjadi flok yang cukup besar dan dapat dipisahkan melalui sedimentasi dan filtrasi.

3. Pengendapan

Pada proses pengendapan dilakukan pada bak pengendap yang berfungsi untuk mengendapkan *flok* yang terbentuk dari

proses koagulasi-*flokulasi* yang selanjutnya akan dibuang melalui proses *blow down*.

4. Penyaringan (*Sand Filter*)

   Air yang keluar dari bak pengendapan masih terkandung partikel-partikel padat yang tersuspensi. Kemudian air tersebut akan di alirkan ke *sand filter* untuk melawati proses penyaringan. Tujuan penyaringan tersebut untuk menghilangkan kandungan mineral yang terdapat didalam air seperti kalsium (Ca2+), magnesium (mg2+), Natrium (Na2+), dan mineral lainnya dengan bantuan resin untuk proses penyaringan tersebut. *Sand filter* perlu dilakukan pencucian atau pembersihan jika sudah dianggap kotor.

5. Bak Penampungan Air Sementara

   Air yang telah melewati proses filtrasi dapat dikategorikan sebagai air bersih dan selanjutnya ditampung terlebih dahulu di dalam bak penampungan sementara. Air yang telah ditampung tersebut kemudian dialirkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan di dalam pabrik, antara lain, air domestik air *service*, air proses, air pendinginan dan *steam*

6. Klorinasi

   Pada tahap ini yaitu proses penambahan klorin (Cl_2) atau hipoklorit pada air, tujuan pada proses ini untuk membunuh bakteri dan mikroba yang terkandung didalam air sehingga air aman untuk digunakan.

7. Demineralisasi

Pada proses demineralisasi berfungsi untuk menghilangkan ion-ion yang terkandung di dalam air yang telah difiltrasi untuk diumpankan ke boiler. Proses demineralisasi terdapat dua tahap, pelunakan air dan dealkalinasi. Pada tahap pertama yaitu pelunakan air, mineral-mineral yang terkandung dipisahkan dari air menggunakan kation *exchanger*. Mineral-mineral tersebut diserap oleh resin *hydrogen-zeolite* di dalam kation *exchanger*. Resin tersebut memiliki kapasitas tertentu untuk menangka ion-ion tersebut. Saat resin sudah tidak mampu untuk menangkap mineral proses regenerasi dilakukan dengan menambahkan asam kuat yaitu H_2SO_4. Kation *exchanger* mengeluarkan air yang telah diminimalkan kemungkinan untuk membentuk *scalling*. Setelah itu, air akan di proses di anion *exchanger* untuk dilakukan tahap dealkalinasi. Proses tersebut bertujuan untuk menangkap ion-ion negative yang menyebabkan masalah jika air basa dipanaskan. Air keluaran dari anion *exchanger* telah bersih dari ion-ion yang tidak diinginkan. Tetapi, jika digunakan sebagai umpan di boiler masih memerlukan tahapan pengolahan tambahan untuk memastikan bahwa air tersebut memenuhi standar yang diperlukan untuk mendukung kinerja boiler serta sistem lainnya.

8. Dearasi

Setelah melewati proses demineralisasi, air yang akan di umpankan ke boiler harus melewati tahap deaerasi. Tahap deareasi berfungsi untuk menghilangkan gas-gas yang teralut pada air, terutama gas oksigen (O_2) yang bisa menyebabkan boiler mengalami korosi. Senyawa hidrazin (N_2H_4) digunakan untuk menghilangkan gas-gas yang terkandung dan senyawa hidrazin memiliki fungsi untuk mengikat oksigen dan gas-gas terlarut lainnya. Setelah kandunga gas berkurang maka air tersebut bisa digunakan sebagai air umpan boiler. Di dalam boiler, air tersebut akan dipanaskan hingga menjadi uap. Tetapi, saat proses berlangsung terdapat padatan yang tersuspensi dan dapat di akumulasi. Oleh karena itu, proses *blowdown* dilakukan secara berkala, yaitu membuang Sebagian besar air dari boiler untuk menjaga kestabilan konsentrasi padatan. Sebagai pengganti air yang dibuang, maka ditambahkan *make-up water* agar kebutuhan air untuk proses terpenuhi.

5.2 Unit Pembangkit *Steam*

Unit pembangkit steam memiliki fungsi untuk memenuhi kebutuhan uap dalam proses produksi fosgen, dengan menyediakan sebuah ketel uap yang berspesifikasi:

Kapasitas : 53979,502 kg/jam

Jenis : *Fire* Tube Boiler

Jumlah : 1 buah

Boiler dilengkapi dengan komponen *economizer*, sistem katup pengaman (*safety valve*), serta berbagai perlindungan otomatis untuk menjaga operasi teteap aman. Hasil air pengolahan dari unit *water treatment plant* yang akan diumpankan ke boiler dikondisikan terlebih dahulu agar kandungan silika, oksigen (O_2), ion kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) diminimalkan dengan penambahan bahan kimia tertentu ke dalam *boiler feed water tank*. Pengukuran pH dilakukan karena hal tersebut penting dilakukan, jika pH terlalu tinggi maka dapat meningkatkan potensi korosi. Sebelum air dialirkan ke boiler, air umpan akan melewati *economizer* yaitu alat penukar panas yang menggunakan panas dari gas sisa pembakaran batubara yang keluar dari boiler. Di*economizer*, air akan dipanaskan hingga mencapai suhu sekitar 150°C. didalam boiler, api dari burner memanaskan Lorong-lorong api dan pipa-pipa. Gas sisa dari pembakaran dialirkan ke *economizer* sebelum akhirnya akan dibuang melalui cerobong asap. Selama proses tersebut, air didalam boiler menyerap panas dari permukaan pipa dan dinding lorong sehingga terjadi pendidihan dan menghasilkan uap. Ketika tekanan uap mencapai tekanan 10 bar uap dikumpulkan dan dialirkan ke *steam header* dan selanjutnya disalurkan ke berbagi area proses produksi.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan listrik di pabrik fosgen berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan dari generator pabrik jika ada gangguan Listrik dari PLN setempat. Hal tersebut bertujuan agar pasokan listrik bisa berlangsung secara kontinyu walaupun ada gangguan listrik dari sumber utama yaitu PLN. Spesifikasi dari generator yang digunakan dalam pabrik yaitu:

Kapasitas : 550,0731 kW

Jenis : AC Generator

Jumlah : 1 buah

Berikut merupakan kebutuhan listrik pada pabrik fosgen:

1. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No	Nama Alat	Kode Alat	Hp	kW
1	Kompresor 01	K-01	1,459	1,088
2	Pompa 1	P-01	40	29,828
3	Pompa 2	P-02	40	29,828
Total			81,459	60,744

2. Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

No	Nama Alat	Kode Alat	Hp	kW
1	Kompresor	C-01	3	2,237
2	*Cooling Tower Fan*	T-01	20,00	14,914
3	Flokulator	M-01	0,05	0,037
4	Clarifier	M-02	0,25	0,186
5	Tangki NaOH	M-03	5	3,729

6	Tangki NaCl	M-04	1,5	1,119
7	Pompa 1	PU-01	40	29,828
8	Pompa 2	PU-02	40	29,828
9	Pompa 3	PU-03	40	29,828
10	Pompa 4	PU-04	40	29,828
11	Pompa 5	PU-05	40	29,828
12	Pompa 6	PU-06	5	3,729
13	Pompa 7	PU-07	5	3,729
14	Pompa 8	PU-08	5	3,729
15	Pompa 9	PU-09	5	3,729
16	Pompa 10	PU-10	5	3,729
Total			254,8	190,004

Sehingga kebutuhan total listrik unit proses dan unit utilitas sebesar 369,8852 kW dan untuk alasan keamanan kemudian dilakukan *over design* sebanyak 10%, sehingga total kebutuhan listrik sebesar 406,8737 kW.

3. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

   Power yang dibutuhkan untuk alat kontrol diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 68,9558 kW.

4. Kebutuhan Listrik Penerangan

   Power yang dibutuhkan untuk penerangan diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 41,3735 kW.

5. Kebutuhan Listrik Bengkel, Laboratorium, dan lain-lain

Power yang dibutuhkan untuk bengkel, lab, dll diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 41,3735 kW.

6. Kebutuhan Listrik Perkantoran

Power yang dibutuhkan untuk kantor (AC, komputer, dll) diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 41,3735 kW.

Tabel 5.5 Total Kebutuhan Listrik Pabrik Fosgen

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	Unit Proses	89,6052
2	Unit Utilitas	280,28
3	Alat Kontrol	68,955
4	Penerangan	41,373
5	Kantor	41,373
6	Lab, bengkel, dll	41,373
Total		562,961

5.4 Unit Penyediaa Udara Tekan

Di pabrik fosgen, udara tekan sangat dibutuhkan untuk mengoperasikan *instrument control* dan alat-alat yang berfungsi secara pneumatis. Tekanan udara yang digunakan yaitu 7 bar. Proses pembuatan dari udara tekan dimulai dengan mengambil udara dari lingkungan lalu dikompresi menggunakan kompresor yang sudah dilemngkapi dengan filter udara hingga mencapai

tekanan 7 bar. Selanjutnya, udara tekana dialirkan ke alat-alat kontrol dan proses yang membutuhkan. Total kebutuhan udara *instrument* diperkirakan sekitar 18,69 m^3/jam. Udara akan melalui sebuah benjana pengering yang berisi silica gel untuk menghilangkan kelembaban karena udara yang keluar dari blower harus kering.

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit utilitas penyediaan bahan bakar berfungsi untuk menyuplai bahan bakar yang digunakan dalam operasi boiler untuk menghasilkan steam. Steam yang dihasilkan selanjutnya dimanfaatkan sebagai media pemanas pada berbagai peralatan proses di pabrik. Penggunaan bahan bakar solar dipilih karena memiliki nilai kalor yang tinggi, ketersediaannya relatif mudah diperoleh, serta sistem penyimpanan dan penanganannya lebih sederhana dibandingkan bahan bakar gas. Kebutuhan bahan bakar solar pada boiler sebesar 177,332 L/jam.

5.6 Unit Pengolahan Limbah

a. Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik fosgen berasal dari beberapa sumber, antara lain air buangan domestik, *blowdown* dari sistem *cooling water*, serta air hasil *backwash filter* dan air berminyak yang berasal dari pompa. Air limbah domestik umumnya berasal dari fasilitas sanitasi seperti toilet yang terdapat di area pabrik maupun perkantoran. Limbah tersebut terlebih dahulu dikumpulkan kemudian diolah pada unit stabilisasi

menggunakan proses lumpur aktif yang dilengkapi dengan sistem aerasi dan injeksi gas klorin sebelum dibuang ke lingkungan.

Selain itu, limbah cair yang berasal dari laboratorium juga memerlukan proses pengolahan khusus karena mengandung berbagai senyawa kimia. Pengolahan limbah cair tersebut dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu *physical treatment* seperti proses pengendapan dan penyaringan untuk memisahkan partikel tersuspensi, *chemical treatment* melalui penambahan bahan kimia dan pengaturan pH, serta *biological treatment* untuk menguraikan senyawa organik yang masih terkandung di dalam limbah. Melalui serangkaian proses pengolahan tersebut diharapkan kualitas air limbah yang dihasilkan telah memenuhi standar baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan.

b. Limbah Gas

Limbah gas pada pabrik fosgen umumnya berasal dari aliran vent unit proses, separator, tangki penyimpanan, serta gas buang hasil *purging* dan kegiatan operasi lainnya. Limbah gas tersebut dapat mengandung jejak fosgen ($COCl_2$), klorin (Cl_2), karbon monoksida (CO), dan gas inert sehingga memerlukan pengolahan khusus sebelum dilepaskan ke atmosfer. Pengolahan limbah gas dilakukan menggunakan sistem *scrubber* alkali dengan larutan NaOH untuk menyerap dan menetralkan kandungan fosgen dan klorin yang masih terbawa dalam aliran gas. Pada proses ini, fosgen akan terhidrolisis dan bereaksi dengan NaOH membentuk senyawa yang lebih aman sehingga dapat mengurangi tingkat toksisitas gas buang. Setelah

melalui unit *scrubber*, gas buang dialirkan menuju *vent stack* untuk dilepaskan ke atmosfer. Melalui rangkaian proses pengolahan tersebut, kandungan senyawa berbahaya dalam limbah gas diharapkan dapat dikurangi hingga berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, sehingga gas buang yang dilepaskan telah memenuhi standar emisi lingkungan dan aman terhadap lingkungan sekitar.

5.7 Spesifikasi Unit Utilitas

5.7.1 Pompa Utilitas

Tabel 5.6 Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	**PU-01**	**PU-02**	**PU-03**	**PU-04**	**PU-05**
Fungsi	Mengalirkan air dari Sungai yang melewati *Screening* (FU-01) ke Bak pendendapan I (BU-01)	Mengalirkan air dari Bak pengendapan I (BU-01) ke Tangki Flokulator/ Penggumpal (TU-01)	Mengalirkan air dari Tangki Penggumpal (TU-01) ke Clarifier (KL -01)	Mengalirkan air dari Klarifier (KL-01) ke Bak Pengendap 2 (BU-02)	Mengalirkan air dari Bak Pengendap 2 (BU-02) ke Bak Saringan Pasir/Sand Filter (FU02)
Jenis	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*
Bahan	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316
Kapasitas, m^3/jam	102,1828	102,1828	102,1828	102,1828	102,1828

Spesifikasi					
IPS, in	4	4	4	4	4
Flow Area, in^2	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
OD, in	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
ID, in	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
Efisiensi Pompa, %	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Power Pompa, Hp	35,43	35,43	35,43	35,43	35,43
Power Motor, Hp	40	40	40	40	40

Tabel 5.7 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	**PU-06**	**PU-07**	**PU-08**	**PU-09**	**PU-10**
Fungsi	Mengalirkan air ke bak air bersih	Mengalirkan air ke *cooling tower* dan tangki klorinas	Mengalirkan air ke unit proses sebagai media pendingin	Mengalirkan air ke umpan boiler	Mengalirkan kondensat sebagai umpan boiler
Jenis	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*	*Single Stage Centrifugal Pump*
Bahan	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316	*Stainless Steel type* 316

Kapasitas, m^3/jam	100,9397	100,9397	100,9397	100,9397	100,9397
Spesifikasi					
IPS, in	4	4	4	4	4
Flow Area, in^2	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
OD, in	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
ID, in	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83
Efisiensi Pompa, %	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79
Power Pompa, Hp	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Power Motor, Hp	5	5	5	5	5

5.7.2 Tangki

Tabel 5.8 Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode	**TU-01**	**TU-02**	**TU-03**	**TU-04**
Nama	Tangki Flokulator	Tangki Tawas	Tangki Larutan CaOH	Tangki Penyimpanan kaporit
Fungsi	Mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan untuk menggumpalkan kotoran	Menyimpan larutan Alum 5% untuk 2 minggu operasi	Menyimpan larutan CaOH 5% untuk 2 minggu operasi	Menyimpan kebutuhan kaporit selama 1 minggu
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder Tegak
Bahan	*Stainless Steel*	*Stainless Steel*	*Carbon Steel*	*Carbon steel*
Spesifikasi				
Tinggi (m)	4,354	1,122	4,997	0,077
Diameter (m)	4,354	0,561	1,249	0,077
Volume (m^3)	64,772	0,277	3,060	0,004
Jenis Impeller	1	-	-	-
Diameter Impeller (m)	1,45	-	-	-
Power Motor (Hp)	0,05	-	-	-
Kapasitas (Kg/jam)	53,977	0,231	2550,078	0,7046
Jumlah	1	1	1	1

Tabel 5.9 Lanjutan Tabel pesifikasi Tangki Utilitas

Kode	**TU-05**	**TU-06**	**TU-07**	**TU-08**
Nama	Tangki Klorinasi	Tangki Air Bertekanan	Tangki Air Bersih	Tangki Kation
Fungsi	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air	Menampung Air bertekanan untuk keperluan layanan umum	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga	Menghilangkan mineral yang masih terkandung di dalam air
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder Tegak
Bahan	*Stainless Steel*	*Carbon Steel*	*Stainless Steel*	*Carbon steel*
Spesifikasi				
Tinggi (m)	0,963	2,776	2,776	1,577
Diameter (m)	0,963	2,776	2,776	1,314
Volume (m^3)	0,700	16,800	16,800	1,782
Jenis Impeller	-	-	-	-
Diameter Impeller (m)	-	-	-	-
Power Motor (Hp)	-	-	-	-
Kapasitas (Kg/jam)	583,3	583,333	583,3	285,393
Jumlah	1	1	1	2

Tabel 5.10 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode	**TU-09**	**TU-10**	**TU-11**	**TU-12**
Nama	Tangki Anion	Tangki NaOH	Tangki NaCl	Tangki Dearator
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung di dalam air	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar anion	Melarutkan NaCl sebagai umpan regenerasi penukar kation	Menghilangkan gas CO_2, dan O_2 yang terikat dalam *feed water*
Jenis	Tangki Silinder	Tangki silinder tegak dengan pengaduk	Tangki silinder tegak dengan pengaduk	Tangki Silinder Tegak
Bahan	*Carbon Steel*	*Carbon Steel*	*Carbon Steel*	*Carbon Steel*
Spesifikasi				
Tinggi (m)	1,015	2,121	1,082	0,760
Diameter (m)	0,846	1,767	1,082	0,760
Volume (m^3)		4,333	0,995	0,345
Jenis Impeller	-	Flat Blade Turbin	Flat Blade Turbin	-
Jumlah Impeller	-	6	6	-
Diameter Impeller (m)	-	0,589	0,361	-
Power Motor (Hp)	-	5	1,5	-
Kapasitas (Kg/jam)	285,393	3584,995	823,119	285,393
Jumlah	2	1	1	2

Tabel 5.11 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode	**TU-13**
Nama	Tangki Kondesat
Fungsi	Mengumpulkan kondensat
Jenis	Tangki Silinder horizontal
Bahan	*Carbon Steel*
Spesifikasi	
Tinggi (m)	0,737
Diameter (m)	1,474
Volume (m^3)	0,314
Jenis Impeller	-
Jumlah Impeller	-
Diameter Impeller (m)	-
Power Motor (Hp)	-
Kapasitas (Kg/jam)	285,393
Jumlah	1

5.7.3 Bak

Tabel 5.12 Spesifikasi Bak Utilitas

Kode	**BU-01**	**BU-02**	**BU-03**
Fungsi	Bak pengendapan awal	Bak pengendapan 2	Bak pengampungan air bersih
Jenis	Berbentuk bak persegi yang diperkuat beton bertulang	Bak persegi yang diperkuat beton bertulang	Bak persegi yang diperkat betol bertulang dan dilapisi porselen
Spesifikasi			
Panjang (m)	8,376	6,256	3,657
Lebar (m)	8,376	6,256	3,657

Tinggi (m)	4,188	3,128	1,829
Volume (m^3)	293,776	122,407	24,461

5.7.4 *Clarifier*

Tabel 5.13 Spesifikasi *Clarifier*

Kode	**CL-01**
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran bersifat koloid yang terbawa oleh air dari bak pengendap awal
Jenis	*Clarifier/Conical Bottom*
Spesifikasi	
Tinggi (m)	7,444
Diameter (m)	7,444
Volume (m^3)	323,861
Jenis Impeller	*Marine Propeller 3 Blade*
Jumlah Impeller	4
Diameter Impeller (m)	2,481
Power Motor (Hp)	0,25

5.7.5 *Cooling*

1. *Cooling Tower*

Tabel 5.14 Spesifikasi *Cooling Tower*

Kode	**CT-01**
Fungsi	Mendinginkan air pendingin setelah digunakan oleh alat proses dengan media pendingin udara
Sistem	Kontak langsung dengan udara didalam *cooling tower* (fan)
Jenis	*Induced draft cooling tower*
Bahan	*Carbon Steel*
Spesifikasi	
Panjang (m)	1,280

Lebar (m)	1,280
Tinggi (m)	15,579

2. *Blower Cooling Tower*

Tabel 5.15 Spesifikasi *Cooling Tower*

Kode	**BL-01**
Fungsi	Menghisap udara sekeliling untuk dikontakkan dengan air yang akan didinginkan
Jenis	*Induced draft cooling tower*
Bahan	*Carbon Steel*
Spesifikasi	
Kapasitas (m^3/jam)	45.393
Efisiensi	88
Power (Hp)	7,25

5.7.6 *Sand Filter*

Tabel 5.16 Spesifikasi *Sand Filter*

Kode	**SF-01**
Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air sungai
Jenis	Tangki Silinder
Bahan	*Carbon Steel*
Ukuran Pasir (mesh)	*20*
Spesifikasi	
Volume (m^3)	6,516
Lebar (m)	2,353
Tinggi (m)	2,353

BAB VI
EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi merupakan tahapan analisis dalam perancangan pabrik yang bertujuan untuk menilai kelayakan suatu proyek industri dari aspek finansial. Analisis ini dilakukan dengan memperhitungkan seluruh biaya yang dibutuhkan selama pembangunan dan pengoperasian pabrik serta membandingkannya dengan keuntungan yang diperoleh dari hasil penjualan produk. Melalui evaluasi ekonomi, dapat diketahui apakah suatu pabrik mampu memberikan keuntungan yang memadai dan layak untuk direalisasikan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi evaluasi ekonomi meliputi;

a. Modal (*Capital Invesment*)
    1. Modal tetap (*Fixed Capital Cost*)
    2. Modal Kerja (*Working Capital Invesment*)
b. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)
    1. Biaya Produksi langsung (*Direct manufacturing Cost*)
    2. Biaya Produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
    3. Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
c. Analisa Keuntungan (*General Cost*)
d. Analisa Kelayakan
    1. *Percent return of invesment* (ROI)
    2. *Pay out time* (POT)
    3. *Break event point* (BEP)

4. *Shut down point* (SDP)
5. *Discounted cash flow* (DCF)

6.1 Penaksiran Harga Alat

Penentuan harga setiap alat cenderung mengalami perubahan dari waktu ke waktu yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi ekonomi, tingkat inflasi, perkembangan teknologi, serta fluktasi harga pasar industri. Oleh sebab itu, untuk mengetahui harga setiap alat secara pasti diperlukan metode perhitungan indeks peralatan pada tahun tersebut. Pabrik untuk fosgen ini direncanakan berdiri pada tahun 2029 dan diperlukan indeks harga alat pada tahun tersebut.

Evaluasi ekonomi pada Pabrik fosgen dengan kapasitas produksi 34.000 ton/tahun, pabrik direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2029 sehingga diperlukan estimasi harga peralatan pada tahun tersebut. Analisis penaksiran harga alat dilakukan pada tahun 2026 sebagai dasar perhitungan biaya investasi peralatan yang akan digunakan pada saat pembangunan pabrik. Perhitungan dilakukan menggunakan data indeks harga alat dari tahun 1996 hingga tahun 2029 yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses analisis. Data diatas akan dimuat dalam bentuk grafik hubungan antara tahun dan indeks harga alat seperti tabel berikut ini:

Tabel 6.1 Data Grafik Hubungan antara tahun dan indeks harga alat

Tahun	Indeks
1996	381,7
1997	386,5

1998	389,5
1999	390,6
2000	394,1
2001	394,3
2002	395,6
2003	402
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	575,4
2009	521,9
2010	550,8
2011	585,7
2012	584,6
2013	567,3
2014	576,1
2015	556,8
2016	541,7
2017	567,5
2018	603,1
2018	607,5
2019	596,2
2020	776,3
2021	648,94
2022	658,61
2023	655,51
2024	664,94
2025	674,37

2026	683,79
2027	693,22
2028	702,65
2029	712,08

Berdasarkan data tersebut, dengan asumsi mengalami kenaikan indeks linear, maka dapat diturunkan dengan persamaan *least square*. Sehingga diperoleh grafik hasil berdasarkan ploting data tersebut.

Gambar 6.1. Grafik Indeks Harga

Persamaan diperoleh dari grafik diatas adalah y = 10,464x – 20510. Dengan persamaan ini, dapat diperoleh indeks harga pada tahun 2029 sebesar 712,08. Seluruh harga peralatan dihitung dengan mengacu pada tahun 2029.

Tabel 6.2. Harga Alat Proses

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Ey	Ex
				2026	2029
1	Tangki CO	T-01	1	$ 122.300	$ 127.430
2	Tangki Cl_2	T-02	1	$ 655.100	$ 682.580
3	Tangki $COCl_2$	T-03	1	$ 583.500	$ 607.976
4	*Expansion Valve 01*	EV-01	1	$ 81,77	$ 85,20
5	*Expansion Valve 01*	EV-02	1	$ 81,77	$ 85,20

6	*Heater 01*	HE-01	1	$ 2.900	$ 3.021
7	*Heater 02*	HE-02	1	$ 4.600	$ 4.792
8	*Heater 03*	HE-03	1	$ 2.700	$ 2.813
9	Reaktor	R-01	1	$ 1.072.100	$ 1.117.073
10	Kompresor 01	K-01	1	$ 2.000	$ 2.083
11	*Condensor Parsial*	CDP-01	1	$ 264,300	$ 275.386
12	*Condensor Parsial*	CDP-02	1	$ 170.700	$ 177.860
13	Separator 01	SP-01	1	$ 5.300	$ 5.522
14	Separator 02	SP-02	1	$ 4.700	$ 4.897
15	Pompa 01	P-01	1	$ 7.600	$ 7.918
16	Pompa 02	P-02	1	$ 7.600	$ 7.918
Total				$ 2.905.563	$ 3.027.447

Tabel VI.3. Harga Alat Utilitas

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Ey	Ex
				2026	2029
1	Pompa	PU-01	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
2	Pompa	PU-02	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
3	Pompa	PU-03	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
4	Pompa	PU-04	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
5	Pompa	PU-05	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
6	Pompa	PU-06	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
7	Pompa	PU-07	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
8	Pompa	PU-08	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
9	Pompa	PU-09	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
10	Pompa	PU-10	1	$ 15.100,00	$ 15.733,42
11	Tangki Flukator	TU-01	1	$733.300,00	$764.060,842
12	Tangki Tawas	TU-02	1	$2.200,00	$2.292,287
13	Tangki CaOH	TU-03	1	$37.500,00	$39.073,069
14	Tangki Air Bertekanan	TU-04	1	$89.300,00	$93.046,002
15	Tangki Penyimpanan Klorin	TU-05	1	$100,00	$104,19
16	Tangki Klorinasi	TU-06	1	$63.400,00	$66.059,536
17	Tangki Air Bersih	TU-07	1	$14.600,00	$15.212,448
18	Tangki Kation	TU-08	1	$15.300,00	$15.941,812
19	Tangki Anion	TU-09	1	$10.200,00	$10.627,875
20	Tangki NaOH	TU-10	1	$18.700,00	$19.484,437
21	Tangki NaCl	TU-11	1	$11.000,00	$11.461,434

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Ey	Ex
				2026	2029
22	Tangki Daerator	TU-12	1	$8.500,00	$8.856,562
23	Tangki Kondensat	TU-13	1	$8.200,00	$8.543,978
24	*Clarifier*	KL-01	1	$1.196.500,00	$1.246.691,392
25	*Sand Filter*	SF-01	1	$30.100,00	$31.362,650
26	*Cooling Tower*	CT-01	1	$256.300,00	$267.051,403
27	Boiler	B-01	1	$212.800,00	$221.726,643
28	Bak Pengendapan Awal	BU-01	1	$166.000,00	$172.963,453
29	Bak Penampungan Air Bersih	BU-02	1	$53.700,00	$55.952,635
30	Bak Penampungan Air Bersih	BU-03	1	$121.400,00	$126.492,549
31	Blower Cooling Tower	BL-01	1	$38.500,00	$40.115,018
Total				$ 3.238.600,00	$ 3.374.454,44

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas Produksi = 34.000 ton/tahun

Satu Tahun Operasi = 330 hari kerja

= 7.920 jam

Umur alat = 10 Tahun

Kurs mata uang 1 (usd) = 1 $ = Rp 17.602 (per Mei 2026)

Tahun pabrik didirikan = 2029

6.3 Komponen Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Invesment*)

Capital Invesment merupakan total biaya yang diperlukan untuk mendirikan dan mengoperasikan suatu pabrik industri. Investasi tersebut

digunakan untuk pengadaan peralatan proses, pembangunan fasilitas pabrik, penyediaan utilitas, serta biaya operasional awal sebelum pabrik memperoleh pendapatan dari hasil penjualan produk. (W.A Neilson.,1957)

1. *Fixed Capital Invesment* (Modal Tetap)

   Fixed Capital Investment merupakan biaya yang diperlukan dalam pembangunan fasilitas-fasilitas produksi beserta sarana pendukungnya sehingga pabrik dapat beroperasi. Modal tetap meliputi beberapa aspek yaitu :

Tabel 6.4. *Phsysical Plant Cost* (PPC)

Jenis	**Biaya (Rp)**	**Biaya ($)**
Purchased Equipment Cost	Rp113.153.959.453	$6.428.471
Delivered Equipment Cost	Rp28.288.489.863	$1.607.117
Instalasi Cost	Rp48.656.202.565	$2.764.242
Pemipaan	Rp97.312.405.130	$5.528.485
Instrumentasi	Rp33.946.187.836	$1.928.541
Insulasi	Rp9.052.316.756	$514.277
Listrik	Rp16.973.093.918	$964.270
Bangunan	Rp73.520.000.000	$4.176.798
Land & Yard Improvment	Rp9.000.000.000	$511.305
Total	**Rp429.902.655.522**	**$24.423.511**

Tabel 6.5. *Direct Plant Cost* (DPC)

Jenis	**Biaya (Rp)**	**Biaya ($)**
Engineering & Constrution	Rp128.970.796.656	$7.327.053
DPC	Rp558.873.452.180	$31.750.565
Total	**Rp687.844.248.836**	**$39.077.618**

Tabel 6.6. *Fixed Capital Invesment* (FCI)

Jenis	**Biaya (Rp)**	**Biaya ($)**
Direct Plant Cost	Rp558.873.452.180	$ 31.750.565

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Contractor's fee	Rp27.943.672.608	$ 1.587.528
Contigency	Rp139.718.363.044	$ 7.937.641
Total	**Rp726.535.487.833**	**$ 41.275.735**

2. *Working Capital Invesment* (Modal Kerja)

Tabel 6.7. *Working Capital Investment* (WCI)

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Raw Material Cost	Rp1.354.782.317	$76.967,52
Inproses Inventory	Rp54.079.902.910,07	$3.072.372,62
Product Inventory	Rp108.159.805.820	$6.144.745,25
Extended Credit	Rp168.353.976.960	$9.564.480,00
Available Cash	Rp108.159.805.820	$6.144.745,25
Total	**Rp440.108.273.827**	**$ 25.003.310,64**

6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing Cost merupakan seluruh biaya yang secara langsung berkaitan dengan kegiatan produksi maupun peralatan fisik yang digunakan dalam suatu pabrik proses. Biaya produksi meliputi:

a. *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Tabel 6.8. *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Raw Material	Rp4.967.535.163	$ 282.214,25
Labor Cost	Rp16.374.708.100	$ 930.275,43
Supervisior Cost	Rp3.274.941.620	$ 186.055,09
Maintenance Cost	Rp72.653.548.783	$ 4.127.573,50
Plant Supplies Cost	Rp10.898.032.318	$ 619.136,03
Royalty and Patents Cost	Rp30.864.895.776	$ 1.753.488,00
Utilities Cost	Rp15.457.938.323	$ 878.192,16
Total	**Rp154.491.600.085**	**$ 8.776.934,44**

b. *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)

Indirect Manufacturing Cost adalah biaya yang secara tidak langsung memiliki keterkaitan dengan produksi pabrik.

Tabel 6.9. *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Payroll Overhead	Rp2.456.206.215	$139.541,31
Laboratory	Rp2.456.206.215	$139.541,31
Plant Overhead	Rp13.099.766.480	$744.220,34
Packaging	Rp123.459.583.104	$7.013.952,00
Shipping	Rp6.172.979.155	$350.697,60
Total	**Rp147.644.741.170**	**$8.387.952,57**

c. *Fixed Manufacturing Cost* (FMC)

Fixed Manufacturing Cost merupakan biaya tetap yang harus dikeluarkan oleh perusahaan baik pada saat pabrik beroperasi maupun ketika pabrik tidak beroperasi. Biaya ini bersifat relatif konstan karena tidak dipengaruhi oleh kapasitas produksi maupun tingkat operasi pabrik dalam periode tertentu. Dengan demikian, pengeluaran tersebut tetap harus dipenuhi sebagai bagian dari biaya operasional pabrik.

Tabel 6.10. *Fixed Manufacturing Cost* (FMC)

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Deprection	Rp58.122.839.027	$3.302.058,80
Property Taxes	Rp29.061.419.513	$1.651.029,40
Insurance	Rp7.265.354.878	$412.757,35
Total	**Rp94.449.613.418**	**$5.365.845,55**

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Pengeluaran umum merupakan pengeluaran yang tidak berkaitan secara langsung dengan proses produksi, namun tetap dibutuhkan untuk mendukung keberlangsungan operasional dan pengelolaan perusahaan secara keseluruhan.

Tabel 6.11. *General Expense* (GE)

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Administration	Rp4.634.748.002,56	$263.308,03
Sales Expense	Rp18.538.992.010,25	$1.053.232,13
Research	Rp4.325.764.802,39	$245.754,16
Finance	Rp46.665.750.466,45	$2.651.161,83
Total	**Rp74.165.255.281,65**	**$4.213.456,16**

Tabel 6.12. *Total Production Cost* (TPC)

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Manufacturing Cost (MC)	Rp396.585.954.674	$22.530.732,57
General Expenses (GE)	Rp74.165.255.282	$4.213.456,16
Total	**Rp470.751.209.956**	**$26.744.188,73**

6.4 Analisa Keuntungan

Keuntungan sebelum pajak

Total Penjualan : Rp617.297.915.520

Total Biaya Produksi : Rp470.751.209.956

Keuntungan : Rp146.546.705.564

Keuntungan Setelah Pajak

Pajak 25% dari keuntungan : Rp36.636.676.391

Keuntungan : Rp109.910.029.173

6.5 Analisa Kelayakan

Untuk mengetahui tingkat keuntungan yang diperoleh serta menilai apakah suatu pabrik memiliki potensi yang layak untuk dikembangkan dari aspek ekonomi, maka diperlukan suatu analisis atau evaluasi kelayakan ekonomi. Analisis ini dilakukan untuk meninjau kemampuan pabrik dalam menghasilkan keuntungan, mengembalikan modal investasi, serta mempertahankan keberlangsungan operasional selama masa produksi. Melalui evaluasi kelayakan tersebut, dapat diketahui tingkat profitabilitas dan risiko ekonomi dari pabrik yang dirancang. Beberapa cara dilakukan untuk menyatakan kelayakan tersebut seperti:

1. *Return of Invesment* (ROI)

   Return on Investment (ROI) merupakan salah satu parameter profitabilitas yang digunakan untuk menunjukkan perbandingan antara keuntungan yang diperoleh terhadap total investasi yang ditanamkan pada suatu proyek industri. Parameter ini digunakan untuk mengetahui tingkat kemampuan investasi dalam menghasilkan keuntungan selama periode operasi pabrik. Nilai ROI yang dinyatakan layak umumnya berada pada rentang 11% hingga 44%, dimana nilai ROI yang semakin tinggi menunjukkan tingkat keuntungan investasi yang semakin baik.

$$\%ROI = \frac{laba\ tahunan}{FCl} \times 100\%$$

   a. ROI Sebelum Pajak

      ROI = 20%

   b. ROI Setelah Pajak

ROI = 15%

2. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time (POT) adalah salah satu parameter yang menunjukkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi melalui keuntungan yang diperoleh dari kegiatan operasional pabrik. Nilai *Pay Out Time* digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat kecepatan pengembalian investasi sehingga dapat diketahui tingkat kelayakan ekonomi suatu proyek industri. Semakin kecil nilai *Pay Out Time* yang diperoleh, maka semakin cepat modal investasi dapat kembali dan semakin baik tingkat kelayakan ekonomi pabrik tersebut.

$$POT = \frac{FCI}{cash\ return}$$

Pada pabrik dengan risiko rendah mempunyai nilai POT maksimal 5 tahun, sedangkan pabrik yang risiko tinggi mempunyai nilai POT maksimal 2 tahun.

a. POT Sebelum Pajak

POT : 3,5 Tahun

b. POT Setelah Pajak

POT : 4,3 Tahun

3. *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point (BEP) merupakan kondisi ketika perusahaan berada pada titik impas, yaitu tidak mengalami kerugian maupun memperoleh keuntungan. Keadaan ini terjadi apabila total pendapatan

yang diperoleh hanya mampu menutupi seluruh biaya, baik biaya tetap maupun biaya variabel (Alwi, 1990).

Melalui analisis BEP, dapat ditentukan tingkat harga jual serta jumlah minimum produk yang harus dijual agar perusahaan mencapai kondisi impas dan mulai memperoleh keuntungan. Pada industri pabrik kimia, nilai BEP umumnya berada dalam kisaran 40–60% (Aries and Newton, 1955).

$$\text{BEP} = \frac{Fa + 0{,}3Ra}{Sa - Va - 0{,}7Ra}\ X\ 100\ \%$$

Dimana:

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksmimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum annual

a. *Fixed Cost*

Tabel 6.13. *Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)*

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Depreciation	Rp58.122.839.027	$3.302.058,80
Property Taxes	Rp29.061.419.513	$1.651.029,40
Insurance	Rp7.265.354.878	$412.757,35
Total	**Rp94.449.613.418**	**$5.365.845,55**

b. *Regulated Cost*

Tabel 6.14. *Annual Regulated Expenses*

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Gaji Karyawan	Rp16.374.708.100	$ 930.275,43

Payroll Overhead	Rp2.456.206.215	$ 139.541,31
Supervisior	Rp3.274.941.620	$ 186.055,09
Plant Overhead	Rp13.099.766.480	$ 744.220,34
Laboratorium	Rp2.456.206.215	$ 139.541,31
General Expense	Rp74.653.548.783	$ 4.213.456,16
Maintenance	Rp72.653.548.783	$ 4.127.573,50
Plant Supplies	Rp10.898.032.318	$ 619.136,03
Total	**Rp195.378.665.014**	**$ 11.099.799,17**

c. *Variabel Cost*

Tabel 6.15. *Annual Variabel Cost*

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Raw Material	Rp4.967.535.163,90	$ 282.214,25
Packaging	Rp123.456.206.215	$ 7.013.952,00
Shipping	Rp6.172.979.155	$ 350.697,60
Utilities	Rp15.457.938.323	$ 878.192,16
Royalty & Patents	Rp30.864.895.776	$ 1.753.488
Total	**Rp180.922.931.523**	**$ 10.278.544,00**

d. *Sales*

Tabel 6.16. *Annual Sales Value (Sa)*

Jenis	Biaya (Rp)	Biaya ($)
Sales	Rp617.297.915.520	$ 35.240.738,24
Total	**Rp617.297.915.520**	**$ 35.240.738,24**

Berdasarkan data yang telah diperoleh pada tabel sebelumnya, maka:

$$\text{BEP} = \frac{94.449.613.418 + 0{,}3 \times 195.378.665.014}{617.297.915.520 - 180.922.931.523 - 0{,}7 \times 195.378.665.014} \times 100\%$$
$$= 51\%$$

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai BEP sebesar 51%.

4. *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point (SDP) adalah keadaan di mana suatu kegiatan produksi harus dihentikan baik untuk sementara waktu atau secara

permanen. Penghentian ini bisa terjadi karena berbagai alasan, termasuk keputusan dari manajemen yang disebabkan oleh tidak efisiennya operasi atau biaya variabel yang terlalu tinggi dibandingkan dengan pendapatan yang diperoleh. Secara teori, dalam satu tahun, persentase kapasitas paling sedikit dari pabrik seharusnya dapat mencapai target produksi yang telah ditentukan. Jika pabrik tidak dapat mencapai kapasitas minimum yang ditetapkan, maka kegiatan pabrik harus dihentikan. Hal ini terjadi karena biaya produksi yang harus dikeluarkan melebihi biaya tetap dan juga biaya untuk menutup pabrik. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan *Shut Down Point* adalah sebagai berikut:

$$SDP = \frac{0{,}3Ra}{(Sa - Va - 0{,}7Ra)} \times 100\% = 20\%$$

Didapatkan nilai SDP sebesar 20%

5. *Discounted Cash Flow Rate of return*

Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR) merupakan salah satu cara untuk mengukur kelayakan ekonomi suatu proyek industri dengan lebih tepat karena mempertimbangkan perubahan nilai uang seiring berjalannya waktu. Nilai DCFRR yang tinggi menunjukkan bahwa proyek ini memiliki potensi keuntungan yang baik dan pantas untuk dilaksanakan. Nilai DCFR juga dapat dihitung menggunakan metode Present Value Analysis :

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{n=0}^{n=N-1} (1 + i)^N + WC + SV$$

Dimana:

N = Umur pabrik 10 tahun

FC = Rp727.182.544.428

WC = Rp730.516.772.276

SV = Rp72.718.254.443

CF = Rp291.805.282.071

I = Interest/DCFR = 0,1582

Sehingga diperoleh trial dapat dihitung nilai DCFR. Diperoleh nilai DCFR adalah:

DCFR = 20%

Suku bunga pada tahun 2029 = 4,75%

= 7,13%

6.6 Analisa Resiko Pabrik

Analisis risiko pabrik digunakan untuk menentukan tingkat risiko pabrik, apakah termasuk risiko rendah (*low risk*) atau risiko tinggi (*high risk*). Parameter dalam menentukan tingkat risiko pabrik dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, analisis resiko sangatlah diperlukan sebagai tolak ukur pendirian pabrik apakah memiliki risiko tinggi atau rendah, supaya pabrik dapat dikelola dengan baik dan meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja. Untuk menentukan tingkat risiko pada pabrik fosgen yang akan didirikan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6.17. Analisis Risiko Pabrik

No		Deskripsi	Risk

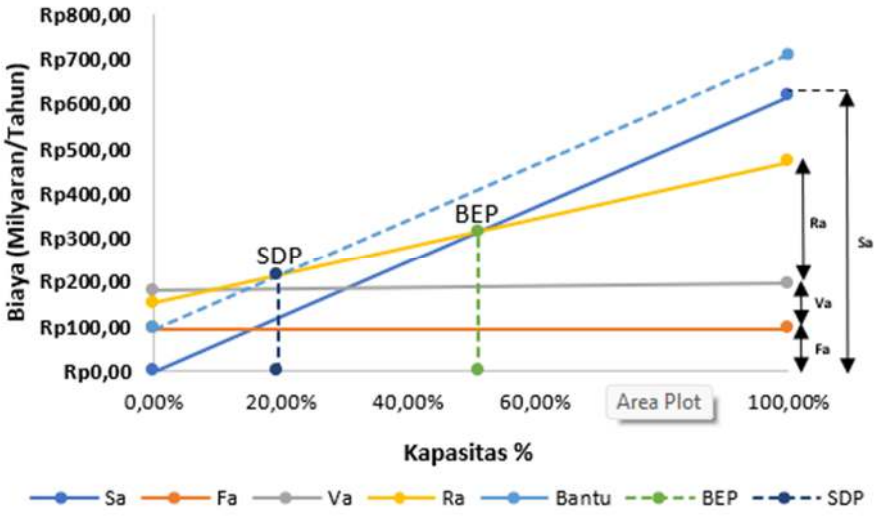
	Parameter Risiko		Low	High
1	Kondisi Operasi	Suhu maksimum dalam proses mencapai 128 ℃	✓	
		Tekanan maksimum 9 atm	✓	
2	Bahan Baku	Mudah terbakar, beracun, bersifat korosif, dan mudah meledak.		✓
Regulasi Pemerintah				
3	Bahan Bahaya dan Beracun (B3)	B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) menurut PP No. 74 Tahun 2001 (dan pembaruannya di PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup).	✓	
		Permen LH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah menetapkan standar kualitas maksimal air limbah yang diizinkan untuk dibuang ke lingkungan bagi berbagai jenis industri dan kegiatan usaha.	✓	
		Kepmenaker No. 187/1999 tentang Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya.	✓	
4	Proses	Pembuatan fosgen dari karbon monoksida dan klorin menggunakan proses pengontakan langsung adalah metode paling umum dan standar digunakan pada skala pabrik/industri		✓

5	*Supply* Bahan Baku	Bahan baku didapatkan dari dalam negeri yang berada di daerah Cilegon.	✓	
6	Penjualan Produk	Pemasaran produk fosgen dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan industri kimia baik di dalam negeri maupun di luar negeri.		✓
7	Keberadaan Pabrik	Pabrik direncanakan di Provinsi Banten, lebih tepatnya di daerah Bojonegara. Daerah yang dekat dengan pelabuhan Ciwandan dan Merak untuk memudahkan akses ekspor hasil produksi.	✓	
8	Akses Evakuasi dan Keadaan Darurat	Jika terjadi bencana, akses kendaraan pemadam kebakaran serta pelayanan kesehatan itu sangat mudah.	✓	

Berdasarkan parameter tersebut dapat disimpulkan bahwa perancangan pabrik fosgen ini memiliki resiko yang rendah atau disebut *low risk.*

Tabel 6.18. Analisis Kelayakan'

Kriteria	**Nilai**	**Persyaratan**	**Layak/Tidak**
ROI (*before tax*)	20%	*Industrial Chemical min.* 11%	Layak
ROI (*after tax*)	15%		Layak
POT (*before tax*)	3,5	*Industrial Chemical max.* 5 th	Layak
POT (*after tax*)	4,3		Layak
BEP	51%	40 - 60 %	Layak
SDP	20%	20 – 40%	Layak
DCFR	20%	>1,5 bunga bank minimum = 7,13%	Layak



Gambar 6.2. Grafik Kelayakan

Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi, pendirian pabrik fosgen dinilai layak dan memberikan prospek keuntungan yang baik. Nilai *Return on Invesment* (ROI) sebelum pajak sebesar 20% telah melampaui batas minimum 15% untuk kategori pabrik dengan risiko rendah. Di sisi lain, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak sebesar 3,5 tahun menunjukan periode pengembalian modal yang relatif cepat dan masih berada di bawah batas maksimum 5 tahun. Nilai *Break Event Point* (BEP) sebesar 51% juga berada dalam kisaran ideal 40%-60%, sementara *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20% mencerminkan efisiensi dalam pengendalian biaya operasional. Selain itu, *Discounted Cash Flow* (DCFR) sebesar 20% yang jauh melebihi suku bunga minimum 7,13% semakin menguatkan kelayakan investasi. Secara keseluruhan, seluruh indikator ekonomi tersebut menunjukkan bahwa pabrik fosgen ini layak untuk di realisasikan.

BAB VII
KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan perancangan pabrik fosgen dengan kapasitas 34.000 ton/tahun, baik dari aspek teknik maupun ekonomi, adalah sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik fosgen dengan kapasitas 34.000 ton/tahun ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan domestik, mengurangi ketergantungan terhadap impor, membuka peluang kerja, serta meningkatkan perekonomian nasional.
2. Prarancangan pabrik yang menggunakan bahan baku karbon monoksida dan klorin ini termasuk dalam kategori pabrik berisiko rendah (*low risk*). Ditinjau dari aspek proses, kondisi operasi, sifat bahan baku dan produk, serta regulasi yang berlaku.
3. Pabrik direncanakan berlokasi di Provinsi Banten, lebih tepatnya Bojonegara dengan luas sekitar 25.000 m^2 dan jumlah tenaga kerja sebanyak 140 orang.
4. Berdasarkan analisis ekonomi, pabrik ini dinilai cukup layak dan menguntungkan untuk didirikan. Beberapa parameter utama yang mendukung kelayakan proyek ini antara lain: *Return on Invesment* (ROI) sebelum pajak sebesar 20% dan setelah pajak 15%; *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 3,5 tahun dan setelah pajak 4,3 tahun; *Break Even Point*

(BEP) sebesar 51%; *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20%; serta *Discounted Flow rate* (DCFR) mencapai 20%.

7.2 Saran

Dalam perancangan pabrik fosgen, aspek keselamatan proses harus menjadi prioritas utama mengingat fosgen merupakan senyawa kimia yang sangat toksik dan berbahaya bagi manusia maupun lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem pengendalian risiko yang ketat serta prosedur tanggap darurat yang dirancang secara optimal. Selain itu, pengawasan operasional, pemilihan material konstruksi yang sesuai, dan penerapan standar keselamatan kerja yang tinggi juga perlu dilakukan untuk meminimalkan potensi terjadinya kecelakaan industri. Meskipun memiliki tingkat risiko yang tinggi, hasil evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa pendirian pabrik fosgen masih layak untuk dibangun karena mampu memberikan keuntungan yang baik, ditunjukkan oleh parameter ekonomi yang memenuhi standar kelayakan industri kimia, serta didukung oleh prospek pasar yang menjanjikan baik di dalam negeri maupun luar negeri.

DAFTAR PUSTAKA

Abrahamsson, S. (1997). *Phosgenation method (U.S. Patent No. 5,693,853). U.S. Patent and Trademark Office.*

Babad, H. and Zeiler, A.G. (1973) *Chemistry of phosgene. Chem.Rev. 73(1):75–91.*

Bast, C. and Bress, B. (2002) *In: Levels, S. o. A. E. G., Toxicology, C.o., and Council, N.R., editors. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals:Volume 2, The National Academies Press, pp. 13–70.*

Cotarca, L. and Eckert, H. (2004) *Phosgenations: A Handbook,John Wiley & Sons.*

Kimitsu Petrochemical Co., Ltd. (1997). *Process for producing phosgene (European Patent No. EP 0 796 819 A1). European Patent Office.*

Lipsett, M.J., Shusterman, D.J., Beard, R.R., 1994. *Phosgene. John Wiley & Sons, New York, pp. 45574563.*

Leonardos, G., Kendall, D.A., Barnard, N.J., 1968. *Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals. In: Presented at the 61th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, St Paul, MN, June 2327.*

NAS/NRC *Board on Environmental Studies and Toxicology (1984) Emergency and Continuous Exposure Limits forSelected Airborne Contaminants, vol. 2, The National Academies Press.*

Penney, D., Benignus, V., Kephalopoulos, S., Kotzias, D., Kleinman, M., & Verrier, A. (2010). *Carbon monoxide. In WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants. WHO Regional Office for Europe.*

Sri International.(1985).*Phosgene (Carbonly Chloride) (Chloroformyl chloride). In 1985 directory of chemical producers: United States of America. Menlo Park, CA: Sri International; pp 777-778*

United States Environmental Protection Agency. (1985). Locating and estimating air emissions from sources of phosgene (EPA-450/4-84-007). Office of Air Quality Planning and Standards.

W. A. Neilson, ed., *Webster's New International Dictionary, 2d ed., G. & C. Merriam Company, Springfield, MA, 1957.*

Yaws , C.L. (1999). *Chemical Properties Handbook. New York: Mc Graw Hill Book Co.*

LAMPIRAN A
PERANCANGAN REAKTOR

PERANCANGAN REAKTOR FIXED BED MULTITUBE

Tugas : Mereaksikan karbon Monoksida (CO) dan Klorin (Cl_2) menghasilkan fosgen ($COCl_2$)

Fase : Gas-Cair

Kondisi Operasi : Temperatur = 126 ℃

Tekanan = 1,35 atm

1. **Kondisi Operasi**

   Suhu = 126 ℃

   Tekanan = 1,35 atm

   Reaksi = Eksotermis

   Reaksi yang terjadi :

   Reaksi : $CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$

2. **Jenis Reaktor**

   Jenis reaktor yang digunakan adalah *isothermal non adiabatic fixedbed multitube reactor.* Reaktor ini dipilih karena cocok untuk reaksi yang berlangsung pada fase gas, bersifat eksotermis dan kondisi suhu yang tinggi. Reaktor *single bed* juga dapat menjaga kestabilan katalis, serta meningkatkan keamanan dan efisiensi proses.

3. **Menentukan Jenis Katalis**

   a. Bahan Katalis : Karbon Aktif

b. Diameter : 0,3 mm

c. Bulk Density : 400 $\frac{kg}{m^3}$

d. Porositas : 0,05

4. Penentuan Model Matematis

Persamaan model matematis yang digunakan dalam perhitungan ini untuk menentukan bobot katalis yang digunakan dalam reaktor :

Neraca Massa Reaktan dalam kondisi *steady state* :

Rate of Mass in CO - rate of mass in Cl_2*- rate of reaction = rate of acc*

$$FA|_W - FA|_{W+\Delta W} - (-r_A')\,\Delta W = 0$$

$$\lim_{\Delta W \to 0} \frac{FA|_{W+\Delta W} - FA|_W}{\Delta W} = -(-r_A')$$

$$-\frac{dFA}{dw} = (-r_A')$$

Stoikiometri = $F_A = F_{A0} - F_{A0X}$

$$dF_A = -F_{A0dX}$$

Sehingga,

$$-F_{A0}\frac{dX}{dW} = (-r_A')$$

$$\frac{dW}{dX} = \frac{F_{A0}}{(-r_A')} dX$$

$$dW = \frac{F_{A0}}{(-r_A')} dX$$

$$\int_0^W dW = \int_0^X \frac{F_{A)}}{(-r_A')} dX$$

$$W = F_{A0} \int_0^X \frac{dX}{\frac{(-r_A')}{\rho\beta}}$$

$$W = \frac{F_{A0}}{\rho\beta} \int_0^X \frac{dX}{(k \times C_{A0}^2 \times (1-X)^2)}$$

$$W = \frac{F_{A0}}{\rho\beta \times k \times C_{A0}^2} \int_0^X \frac{dX}{(1-X)^2}$$

$$W = \frac{F_{A0}}{\rho\beta \times k \times C_{A0}^2} \times \left[\frac{1}{1-X}\right]_0^X$$

$$W = \frac{F_{A0}}{\rho\beta \times k \times C_{A0}^2} \times \frac{1}{1-X} - 1$$

$$W = \frac{F_{A0}}{\rho\beta \times k \times C_{A0}^2} \times \left(\frac{X}{1-X}\right)$$

$$W = \frac{13{,}0252 \ \frac{mol}{s}}{380 \frac{Kg}{m^3} \times 0{,}0000081 \ L \times mol^{-1} \times s^{-1} \times 19{,}33 \frac{m^3}{mol}} \times \left(\frac{99\%}{1-99\%}\right)$$

$$W = 11210 \ Kg$$

Maka, bobot katalis didalam reaktor = 11210 Kg

Menentukan volume katalis yang digunakan :

$$V = \frac{W}{\rho_{katalis}}$$

$$V = \frac{11210\ Kg}{400\ \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V = 28{,}02\ m^3$$

Maka, Volume katalis didalam reaktor = 28,02 m^3

Menentukan Panjang Bed Katalis :

- Menghitung Volume Bed

$$V_{bed} = \frac{W}{\rho\beta}$$

$$V_{bed} = \frac{11210\ Kg}{380\ \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_{bed} = 29{,}50\ m^3$$

- Menghitung Luas Penampang Area

$$A = \frac{V_{Bed}\ \times\ (Tinggi\ tube)^2}{4}$$

$$A = \frac{29{,}50\ m^3\ x\ (6{,}096\ m)^2}{4}$$

$$A = 274{,}05\ \text{m}$$

- Menghitung Panjang Katalis

$$Z = \frac{V_{bed}}{A} + 0{,}914$$

$$Z = \frac{29{,}50\ m^3}{274{,}05\ m} + 0{,}914$$

$$Z = 1{,}02\ m$$

a. Neraca Massa Reaktor

Berikut merupakan neraca massa di dalam reaktor.

Komponen	BM	Input		Output	
		Arus 1		Arus 2	
		Kmol/Jam	Kg/Jam	Kmol/Jam	Kg/Jam
CO	28,01	51,5800	1444,757	5,6269	157,60
Cl_2	70,905	46,8909	3324,80	0,9378	66,4960
$COCl_2$	98,915	0	0	45,953	4545,45
H_2	2,016	1,6781	3,3831	1,6781	3,3831
Total			**4473**		**4773**

b. Menentukan Yi

Komponen	BM	Fi	ni	Yi	BM x Yi
		Kg/Jam	Kmol/Jam		
CO	28,01	144,7572	51,5801	0,5150	14,4260
Cl_2	70,905	3324,8032	46,8910	0,4682	33,1985
$COCl_2$	98,915	0	0	0	0
H_2	2,016	3,3831	1,6782	0,0168	0,0337
Total		**4773**	**100,14**	**1**	**47,6583**

c. Menentukan Nilai Z

Komponen	Yi	Pc	ω	Yi × $\boldsymbol{Pc}$
CO	0,5150	34,53244	0,066	17,7853
Cl_2	0,4682	76,1016	0,069	35,6316

$COCl_2$	0	55,9980	0,201	0
H_2	0,0168	12,9583	-0,22	0,2171
Total	**1**	**179,59**	**0,116**	**53,6341**

(Yaws, C.L., 1999)

Komponen	**Yi**	**Tc**	ω	**Yi ×** $\boldsymbol{Tc}$
CO	0,5150	132,92	0,066	68,4581
Cl_2	0,4682	417,15	0,069	195,3143
$COCl_2$	0	455	0,201	0
H_2	0,0168	33,18	-0,22	0,5560
Total	**1**	**1038,25**	**0,116**	**264,32**

(Yaws, C.L., 1999)

Komponen	**Yi**	**Tc**	ω	**Yi ×** ω
CO	0,5150	132,92	0,066	0,0340
Cl_2	0,4682	417,15	0,069	0,0323
$COCl_2$	0	455	0,201	0
H_2	0,0168	33,18	-0,22	-0,0037
Total	**1**	**1038,25**	**0,116**	**0,0626**

(Yaws, C.L., 1999)

Komponen	BM	Yi	ω	Yi × BM
CO	28,01	0,5150	0,066	14,4261
Cl_2	70,905	0,4682	0,069	33,1985
$COCl_2$	98,915	0	0,201	0
H_2	2,016	0,0168	-0,22	0,0338
Total		**1**	**0,116**	**47,6583**

(Yaws, C.L., 1999)

Tc Umpan = 264,32 K

Pc Umpan = 53,63 atm

Tr $= \frac{T}{Tc} =$ *1,51*

Pr $= \frac{P}{Pc} =$ *0,02*

$\frac{Pr}{Tr}$ = 0,01

Dari hasil perhitungan di dapatkan nilai Tr = 1,51 dan Pr = 0,02 , untuk menentukan densitas umpan kita perlu menentukan nilai Z menggunakan koefisien virial dengan menggunakan persamaan 3 sampai 7.

$$B^{\cap} = \frac{BPc}{RTc} = B^{\circ} + \omega B^{1}$$

$$Z = 1 + \frac{BP}{RT} = 1 + B^{\cap}\frac{Pr}{Tr}$$

$$Z = 1 + \left(\frac{BPc}{RTc}\right)\left(\frac{Pr}{Tr}\right)$$

$$B^{\circ} = 0{,}083 - \frac{0{,}422}{Tr^{1.4}}$$

$$B^{1} = 0{,}139 - \frac{0{,}172}{Tr^{4.2}}$$

Komponen	Yi	Tr	Pr	B°	B^{l}
CO	0,5150	3,0093	0,0391	0,0106	0,1373
Cl_2	0,4682	0,9589	0,0177	-0,3683	-0,0662
$COCl_2$	0	0,8791	0,0241	-0,4356	-0,1565
H_2	0,0168	12,0555	0,1042	0,0751	0,1390
Total	**1**	**16,9028**	**0,1851**	**0,0784**	**0,0537**

Komponen	$\frac{BPc}{RTc}$	$\frac{Pr}{Tr}$	Z	Yi × Z
CO	0,0197	0,0130	1,0003	0,5152
Cl_2	-0,3727	0,0185	0,9931	0,4650
$COCl_2$	-0,4459	0,0274	0,9878	0
H_2	0,0843	0,0086	1,0007	0,0168
Total	**-0,7146**	**0,0676**	**3,9819**	**0,9969**

d. Menentukan Laju Alir Volumetrik

$$Vg = \frac{Z \times n \times R \times T}{P}$$

Keterangan :

Vg = Laju Alir Volumetrik, $\frac{cm^3}{dtk}$

n = Mol Umpan, $\frac{mol}{dtk}$ = 17182,59 $\frac{mol}{dtk}$

R = Konstanta Gas, $\frac{cm^3 \times bar}{mol \times K}$ = 83,144 $\frac{cm^3 \times bar}{mol \times K}$

P = Tekanan, *atm* = 1,35 atm

Z = 3,9819

T = Suhu, *K* = 400 K

$$Vg = \frac{3{,}9819 \times 17182{,}59 \times 83{,}144 \times 400}{1{,}35}$$

$$Vg = 16635780{,}09 \frac{cm^3}{dtk}$$

$$Vg = 16{,}6357 \frac{m^3}{dtk}$$

e. Menentukan Densitas Umpan

$$\rho = \frac{P \times BM}{R \times T \times Z}$$

Keterangan :

ρ = Densitas, $\frac{Kg}{m^3}$

P = Tekanan, *atm* = 1,35 atm

R = Konstantas Gas = 0,000082057 $\frac{m^3 \times atm}{mol \times K}$

Z = 3,9819

T = 400 K

BM = Berat Molekul, $\frac{g}{mol}$ = 199,846 $\frac{g}{mol}$

Maka,

$$\rho = \frac{1{,}35 \times 199{,}846}{0{,}000082057 \times 400 \times 3{,}9819}$$

$$\rho = 2064{,}2 \frac{g}{m^3}$$

$$\rho = 2{,}06 \frac{Kg}{m^3}$$

f. Menentukan Viskositas Umpan

Komponen	A	B	C
CO	35,086	0,50651	0,00013314
Cl_2	-3,571	0,487	-0,0000853
$COCl_2$	-37,047	0,51974	0,000019479
H_2	27,758	0,212	0,0000328

(Yaws, C.L., 1999.)

Diketahui :

T_{in} = 126 °C

T_{ref} = 25 °C

1 cP = 2,4191 $\frac{lb}{ft \times hr}$

1 $\frac{lb}{ft \times hr}$ = 3,6 $\frac{Kg}{m \times hr}$

Komponen	**Yi**	η **gas** (**mP**)	η**gas** $\left(\frac{\boldsymbol{Kg}}{\boldsymbol{s.m}}\right)$	η**gas** $\left(\frac{\boldsymbol{Kg}}{\boldsymbol{Jam.m}}\right)$
CO	0,5150	258,9924	0,000026	0,09323
Cl_2	0,4682	177,581	0,000018	0,06392
$COCl_2$	0	173,96	0,000017	0,06262
H_2	0,0168	117,806	0,000012	0,04241
Total		**728,34**	**0,000073**	**0,26220**

g. Menentukan Konduktivitas Umpan

Komponen	**BM**	**A**	**B**	**C**
CO	28,01	0,0015	0,000082	-1,9171E-08
Cl_2	70,905	-0,00194	0,0000383	-6,3523E-09
$COCl_2$	98,915	-0,0044	0,0000382	1,9254E-08
H_2	2,016	0,03951	0,0004591	-6,4933E-08

(Yaws, C.L., 1999.)

Berdasarkan buku *Chemical Properties Handbook (Yaws, 1999)* nilai konduktivitas panas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$k_{gas} = A + B + CT^2$$

Keterangan,

k = Konduktivitas Panas $\left(\frac{W}{(m \times k)}\right)$

A,B dan C = Koefisien regresi dari komponen kimia/data Antoine

T = Suhu, *K*

Diketahui:

T_{in} = 126 ℃ = 399 K

T_{ref} = 25 ℃ = 298,15 K

Komponen	**Yi**	**kgas** $\left(\frac{W}{m.K}\right)$	$\boldsymbol{Yi \times kgas \left(\frac{W}{m.K}\right)}$
CO	0,5150	0,03152	0,0162
Cl_2	0,4682	0,01236	0,0058
$COCl_2$	0	0,01398	0
H_2	0,0168	0,21279	0,0036

Komponen	Yi	kgas $\left(\frac{W}{m.K}\right)$	$Yi \times kgas \left(\frac{W}{m.K}\right)$
Total	**1**	**0,27065**	**0,0256**

h. Menentukan Kapasitas Panas Gas

Berdasarkan buku *Chemical Properties Handbook (Yaws,1999)* nilai kapasitas panas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

Keterangan,

C_P = Kapasitas panas gas ideal $\left(\frac{J}{(mol \times K)}\right)$

A,B,C,D dan E = Koefisien regresi dari komponen kimia/ data Antoine

T = Suhu, *K*

Diketahui:

T_{in} = 126 ℃ = 399 K

T_{ref} = 25 ℃ = 298,15 K

Komponen	A	B	C	D	E
CO	29,556	-0,00658	2,01E-05	-1,22E-08	2,26E-12
Cl_2	27,213	0,0304	-3,34E-05	1,60E-08	-2,70E-12
$COCl_2$	20,747	0,18	-2,32E-04	1,4E-07	-3,31E-11

Komponen	A	B	C	D	E
H_2	25,399	0,0202	-3,85E-05	3,19E-08	-8,76E-12

(Yaws, C.L., 1999.)

Dari nilai Antoine tersebtu maka kapasitas panas gas campuran dapat dihitung sebagai berikut.

Komponen	Yi	Cp $\left(\frac{J}{mol.K}\right)$	Cp $\left(\frac{kJ}{kmol.K}\right)$	$Cp \times Yi$ $\left(\frac{kJ}{kmol.K}\right)$
CO	0,5150	29,5560	29,5560	0,5435
Cl_2	0,4682	27,2130	27,2130	0,1797
$COCl_2$	0	20,7470	20,7470	0
H_2	0,0168	25,3990	25,3990	0,2111
Total				**0,9343**

Jadi, kapasitas panas gas umpan sebesar 0,9343 $\frac{kJ}{kmol \times K}$

5. **Menentukan Ukuran Tube**

Diameter reaktor dipilih berdasarkan pertimbangan agar perpindahan panas berjalan dengan baik. Pengaruh rasio Dp/Dt terhadap koefesien perpindahan dalam pipa yang berisi serbuk katalisator dibandingkan dengan pipa kosong (hw/h) yang telah diteliti oleh Colburn's yaitu :

Dp/Dt	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30
hw/h	5,50	7,0	7,80	7,50	7,0	6,60

(Smith, Chem Kinetika Eng, P.571)

Dipilih Dp/Dt = 0,15

Dimana :

hw : Koefisien perpindahan panas dalam pipa berisi katalis

h : Koefisien perpindahan panas dalam pipa kosong

Dp : Diameter Katalisator

Dt : Diameter Tube

Jenis Tube	Steel Pipe	
IPS	4 in	0,1016 m

OD	4,5 in	0,1143 m
IDE	4,026 in	0,1022 m
Flowarea per pipe	12,7 in^2	0,00819 m^2
Sc Num	40	
Superfase per lin ft (outside)	1,178 $\frac{ft^2}{ft}$	
Surface per lin ft (inside)	1,055 $\frac{ft^2}{ft}$	

Jenis = Karbon Aktif

Ukuran = D = 0,3 cm

L = 0,2 cm

Bulk density = 380 $\frac{Kg}{m^3}$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka dipilih ukuran tube standar :

Aliran dalam pipa adalah aliran transisi, maka $N_{re} = 2266$

$$N_{re} = \frac{Gt \times Dt}{\mu}$$

$$Gt = \frac{\mu \times NRe}{Dt}$$

Dimana :

N_{re} = 2266

μ = 0,262 $\frac{Kg}{m.s}$

Dt = 0,1022 m

$Gt = \frac{\mu.NRe}{Dt}$ = 58122 $\frac{Kg}{m^2.s}$

A = Luas Penampang

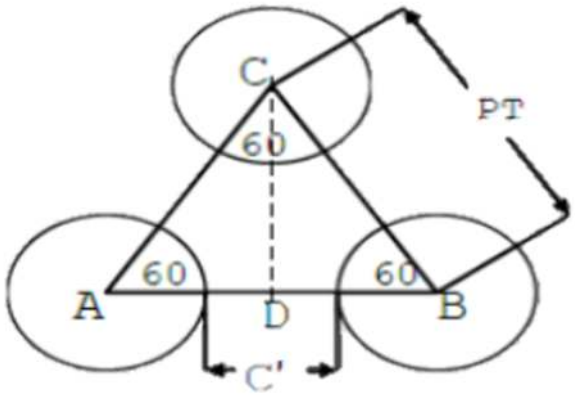
= 0,0082 m^2

Nt = (jumlah pipa) max

= 560 buah

6. Menentukan Diameter Tube

Pipa (tube disusun dengan pola *'triangular pitch'* agar turbulensi yang terjadi pada alira fluida dalam *shell* menjaddi besar, sehingga akan memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi (ho). Sehingga, transfer panas lebih baik dari pada susunan *square pitch* (Kern,1983)



Susunan tube = *triangular*

Pitch tube (PT) = 1,25 x Odt

= 5,625 in

= 14,287 cm

Clerance (C') = PT – Odt

= 1,125 in

= 2,857 cm

Untuk menghitung diameter shell, dicari luas penampang *shell* total (A total); Luas *shell* = Luas Segitiga.

$$A\ total = 2.Nt.Luas\ Segitiga\ ABC$$

$$\frac{\pi}{4} \times IDs^2 = 2.Nt/\left(\frac{1}{2}.PT^2.0{,}866\right)$$

Maka,

IDs $= \sqrt{\frac{4.Nt.P_T^2.0{,}866}{\pi}}$

= 355,1 cm

= 3,55 m

7. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Overall

a. *Tube Side*

Cp = 0,8349 $\frac{kJ}{kg.K}$

μ = 0,262 $\frac{kg}{m.s}$

k = 0,2707 $\frac{W}{m.K}$

PR $= \frac{Cp.\mu}{k}$

= 808,8

Gt = 58122 $\frac{Kg}{m^2.s}$

Dt = 0,1022 m

Re = 2266

jH = 800

hio $= jH \times \left(\frac{k}{IDt}\right) \times (Pr)^{\frac{1}{2}}$

$= 5379{,}7 \frac{btu}{jam}.ft^2.F$

b. *Shell Side*

IDs = 139,8 in

= 11,6 ft

Baffle (B) = 27,96 in

= 2,33 ft

Pitch Tube (PT) = 5,63 in

= 0,468 ft

Clearence (C') = 1,125 in

= 0,093 ft

W = Laju Aliran Pendingin

W $= 13933{,}5 \frac{kg}{jam}$

$= 1279{,}9 \frac{lb}{jam}$

a_s = *Flow Area Shell*

$= \frac{ID \times C' B}{\mathrm{Pr} \times 144}$

$= 5{,}42\ ft^2$

G_s = *Mass Velocity*

$= \frac{W}{a_s}$

= 235,7 lb/(hr)(ft^2)

d_e = Diameter Equivalent

= 3,20 in

= 0,267 ft

Re_s $= \frac{G_s \times D_e}{\mu_s}$

$= 49{,}9\ ft^2$

jH $= 4$

ho $= 12{,}80$ Btu/hr.ft^2

c. *Clean Overall Coefficient* (Uc)

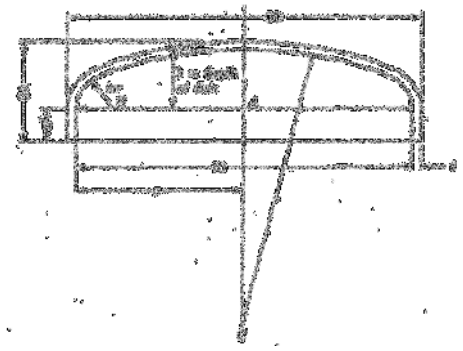
Uc $= \frac{hi_o \times h_o}{h_{io} + h_o}$

$= 1$ Btu/hr.ft^2

8. Mechanical Design Reactor

a. Head

Jenis head yang digunakan adalah *Flanged & Standard Dished Head, dikarenakan menyesuaikan dengan tekanan operasi reaktor yang relatif kecil yaitu 1 atm (brownell & young, 1959)*.



Bahan konstruksi yamg dipilih adalah *Carbon Steel SA 285 Grade C.*

Tebal *Head* (tH) $= 2{,}54$ in

= 3 in

b $= bc - \sqrt{(rc - irc)^2 - \left(\frac{ID}{2} - irc\right)^2}$

= 120,9 in

Tinggi *Head* $= th + b + sf$

= 126,9 in

= 10,53 ft

= 3,16 m

Volume *head* reactor = 2678,4 in

= 68,03 m

= 223 ft

- Tinggi total reaktor = $H + 2h$

= 493,84 in

= 41,15 ft

= 12,54 m

- Volume Reaktor (VR)

Vdish $= 0{,}000019 d_i^3$

= 133,9 in^3

= 0,002 m^3

Vsf $= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times Z$

= 52386835,6 in^3

= 858,5 m^3

VR = Vdish + Vsf

= 52386969,5 in^3

= 858,5 m^3

b. Shell

Diameter Dalam *Shell* (Ids) = 138,8 in

= 3,55 m

Tebal *shell* (s) = 0,38 in

Diameter Luas *Shell* (ODs) = IDs + 2ts

= 140,5 in

c. Spesifikasi Reaktor

Tinggi total reaktor = $H + 2h$

= 493,84 in

= 41,15 ft

= 12,54 m

Volume Reaktor (Vr)

Vdish = 0,000019d_i^3

= 133,9 in^3

= 0,002 m^3

Vsf = $\frac{\pi}{4} \times D^2 \times Z$

= 52386835,6 in^3

= 858,5 m^3

Vr = Vdish + Vsf

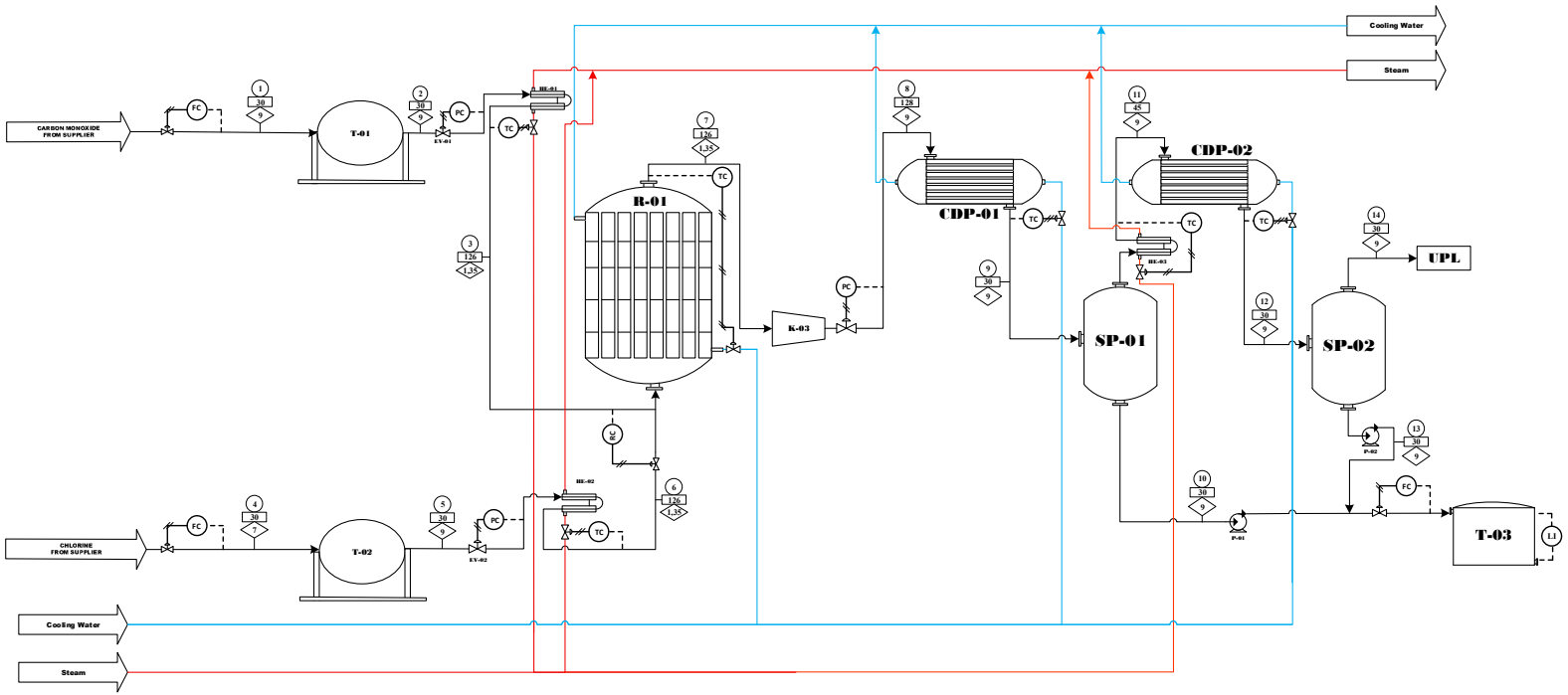
= 52386969,5 in^3

= 858,5 m^3

LAMPIRAN B
PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PRARANCANGAN PABRIK FOSGEN DARI KARBON MONOKSIDA DAN KLORIN
KAPASITAS 36.000 TON/TAHUN



Komponen	Nomor Arus (kg/jam)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CO	1444,75	1444,75	1444,75	-	-	-	157,61	157,61	157,61	0,02	157,58	157,58	-	157,58
Cl_2	-	-	-	3324,80	3324,80	3324,80	66,49	66,49	66,49	55,86	10,63	10,63	0,141	10,49
$COCl_2$	-	-	-	-	-	-	4545,45	4545,45	4545,45	4338,86	206,58	206,58	10,561	196,02
H_2	1,58	1,58	1,58	0,09	0,09	0,09	1,67	1,67	1,67	-	1,67	1,67	-	1,67
Total	1446,34	1446,34	1446,34	3324,89	3324,89	3324,89	4771,23	4771,23	4771,23	4394,75	376,48	376,48	10,70	365,78
Vapor Fraction (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	19,78	-	100	19,78	-	-
Liquid Fraction (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	80,22	100	-	80,22	-	100

Keterangan Alat	
P	Pompa
T	Tangki
R	Reaktor
CDP	*Condensor Partial*
SP	Separator
K	Kompresor
EV	*Expansion Valve*
HE	*Heater*
CL	*Cooler*
UPL	Unit Pengolahan Limbah

Keterangan Simbol	
	Tekanan (atm)
	Suhu (°C)
	Nomor Arus
	Control Valve
	Arus Sinyal Pneumatic
	Arus Sinyal Listrik
	Arus Proses
	Arus Steam
	Arus Cooling Water
Keterangan Instrumen	
FC	*Flow Control*
LC	*Level Control*
RC	*Ratio Control*
TC	*Temperature Control*
PC	*Pressure Control*
LI	*Level Indicator*

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA RANCANGAN FOSGEN DARI KARBON MONOKSIDA DAN KLORIN KAPASITAS 34000 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
1. Izdihar Nabiqhah (22521022)
2. Sri Wulan Sumitra (22521027)

Dosen Pembimbing :
Ifa Puspasari, S.T., M.Eng. Ph. D.

LAMPIRAN C
KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Izdihar Nabiqhah

NIM : 22521022

Nama Mahasiswa 2 : Sri Wulan Sumitra

NIM : 22521027

Judul Pra Rancangan Pabrik : Prancangan Pabrik Fosgen Dari Karbon Monoksida dan Klorin Dengan Kapasitas 36.000 Ton/Tahun

Semester/Tahun Akademik : 8/2025/2026

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

No	Tanggal	Konsultasi	Paraf Dosen
1	2 Oktober 2025	Kapasitas Produksi	
2	8 Oktober 2025	Spesifikasi Bahan Baku dan Pemilihan Proses	
3	31 Oktober 2025	Kinetika dan Termodinamika	
4	21 November 2025	Reaktor	
5	5 Desember 2025	Reaktor dan Alat Besar	
6	14 Januari 2026	Reaktor dan Alat Besar	
7	12 Februari 2026	Reaktor dan Alat Besar	
8	12 Maret 2026	Alat Besar dan Alat Kecil	
9	10 April 2026	Reaktor, Alat besar dan Alat Kecil	
10	24 April 2026	Utilitas	
11	13 Mei 2026	Utilitas dan Evaluasi Ekonomi	

Yogyakarta, 25 Mei 2026
Dosen Pembimbing

Ifa Puspasari, S.T., M. Eng,. Ph.D