PRARANCANGAN PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN PROSES *MIXED OXIDE* KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia

Nama : Muhammad Hizbullah Furqon
NIM : 21521101

Nama : Rudin Priyanto
NIM : 21521104

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2025

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN PROSES MIXED OXIDE KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

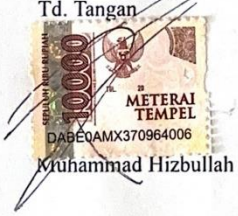
Nama : Muhammad Hizbullah Furqon
No. Mahasiswa : 21521101

Nama : Rudin Priyanto
No. Mahasiswa : 21521104

Yogyakarta, 02 Juli 2025

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

Td. Tangan



Muhammad Hizbullah Furqon

Td. Tangan



Rudin Priyanto

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN PROSES MIXED OXIDE KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

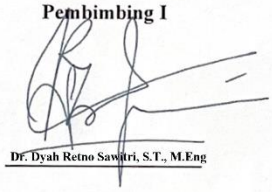
Oleh:

Nama : Muhammad Hizbullah Furqon
No. Mahasiswa : 21521101

Nama : Rudin Priyanto
No. Mahasiswa : 21521104

Yogyakarta, 02 Juli 2025

Pembimbing I



Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN PROSES *MIXED OXIDE* KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Disusun oleh:

Nama : Muhammad Hizbullah Furqon
NIM : 21521101

Nama : Rudin Priyanto
NIM : 21521104

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, 16 Juli 2025

Tim Penguji,

Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.
Ketua Penguji

Dr. Diana, S.T., M.Sc.
Penguji 1

28/07/25

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

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

Prof. Sholeh Ma'mun. S.T., M.T., Ph.D..

NIK. 995200445

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatuulah Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya. Berkat izin dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyusun serta menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *"Prarancangan Pabrik Formaldehid Dari Metanol Dengan Kapasitas 15.000 Ton/Tahun."* Tugas ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak bantuan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan apresiasi kepada:

1. Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat, serta hidayah-Nya yang senantiasa menyertai langkah penulis.
2. Kedua orang tua serta keluarga tercinta yang tak henti memberikan doa, kasih sayang, semangat, dan dukungan kepada penulis.
3. Ibu Dr. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

5. Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar memberikan waktu, masukan, dan bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen di Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan
7. Rekan-rekan seperjuangan di Teknik Kimia FTI UII yang senantiasa menjadi sumber semangat, dukungan, dan kebersamaan selama menempuh studi.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 30 Juni 2025,

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN



segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat, kemudahan, dan kekuatan yang senantiasa diberikan, hingga saya mampu menyelesaikan tugas akhir pra-rancangan pabrik ini. Laporan ini menjadi penanda akhir dari perjalanan panjang selama menempuh pendidikan di Teknik Kimia, sekaligus menjadi titik awal untuk melangkah ke jenjang kehidupan yang baru.

Perjalanan ini bukanlah hal yang mudah, namun keberadaan orang-orang luar biasa di sekitar saya telah menjadi penyemangat dan penguat dalam setiap langkah. Maka, dengan penuh rasa hormat dan cinta, saya mempersembahkan karya ini kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, yang selalu setia mendengarkan keluh kesah, memahami setiap tantangan yang saya hadapi, serta tak pernah lelah mendoakan dan mendukung saya sejak awal perjuangan ini. Terima kasih atas cinta dan pengorbanan yang tak tergantikan.
2. Kakak-kakak saya, yang dengan sabar selalu menyemangati, mendoakan, dan mendorong saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga tuntas. Dukungan kalian adalah penyemangat tersendiri dalam masa-masa penuh tekanan.
3. Ibu Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terima kasih atas segala waktu, perhatian, dan bimbingan yang Ibu

berikan. Arahan Ibu sangat berarti dalam menyusun dan menyempurnakan laporan ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan Ibu dengan keberkahan yang tiada henti.

4. Bapak Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan selama masa studi. Terima kasih atas dedikasi dan motivasi yang begitu berarti sepanjang perjalanan akademik saya
5. Partner kerja luar biasa, Rudin Priyanto, yang telah menemani dan berjuang bersama dalam setiap tahapan penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas kerja sama, kesabaran, dan semangat pantang menyerahmu. Kita telah saling melengkapi dan tumbuh bersama dalam proses ini.
6. Teman-teman seperjuangan di Teknik Kimia, khususnya Barudaknwell dan Theboii (Miftah, Satrio, Wahyu, Manto, Marinus, Rudin, Putra, Lukman, Encep, Ade, Radifan), terima kasih telah mengisi hari-hari dengan tawa, diskusi, dan perjuangan bersama. Karya ini adalah bagian dari cerita kita.
7. Teman-teman dari masa SMA (Abiyyu, Aqil, Dhiwa, Hafidz, Fajar, Zaid, Abdu, Nabiel, Raifan, Tangguh, Farhan, Habib, Alif) yang selalu menjadi keluarga kedua. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup saya, dari bangku sekolah hingga dunia kampus.
8. Rekan-rekan di LABMA, SAMC, dan PPKO, terima kasih atas setiap kolaborasi, pelajaran hidup, dan semangat kebersamaan yang telah membentuk saya menjadi pribadi yang lebih kuat dan matang.

Semoga tugas akhir ini dapat menjadi wujud rasa syukur, bentuk penghargaan, dan kontribusi kecil yang memberi makna bagi siapa pun yang membacanya.

Muhammad Hizbullah Furqon

Teknik Kimia UII 2021

LEMBAR PERSEMBAHAN



Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat, kemudahan, dan kekuatan yang senantiasa diberikan, hingga saya mampu menyelesaikan tugas akhir pra-rancangan pabrik ini. Laporan ini menjadi penanda akhir dari perjalanan panjang selama menempuh pendidikan di Teknik Kimia, sekaligus menjadi titik awal untuk melangkah ke jenjang kehidupan yang baru.

Perjalanan ini bukanlah hal yang mudah, namun keberadaan orang-orang luar biasa di sekitar saya telah menjadi penyemangat dan penguat dalam setiap langkah. Maka, dengan penuh rasa hormat dan cinta, saya mempersembahkan karya ini kepada:

1. Kepada kedua orang tua saya Bapak Karmusi dan Ibu Wusri'ah, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup saya., dua orang yang selalu mengusahakan anak pertamanya ini untuk menempuh pendidikan setinggi-tingginya meskipun mereka berdua sendiri hanya bisa menempuh pendidikan sampai tahap dasar. Kepada bapak saya terima kasih atas setiap cucuran keringat dan kerja keras engkau tukarkan menjadi sebuah nafkah demi anakmu bisa sampai kepada tahap ini., demi anakmu dapat mengenyam pendidikan sampai ke tingkat ini, dan terima kasih telah menjadi contoh untuk menjadi seorang laki-laki yang bertanggung jawab penuh terhadap keluarga. Untuk mama saya, terima kasih atas segala motivasi pesan, doa, dan harapan yang selalu mendampingi setiap

langkah dan ikhtiar anakmu untuk menjadi seseorang yang berpendidikan, terima kasih atas kasih sayang tanpa batas yang tak pernah lekang oleh waktu, atas kesabaran dan pengorbanan yang selalu mengiringi perjalanan hidup saya, terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi, serta pelita yang tak pernah padam dalam setiap langkah yang saya tempuh. terakhir, terima kasih atas segala hal yang kalian berikan yang tak terhitung jumlahnya.

2. Kepada adikku tersayang, Azril Rafisqy Arfadia. Terima kasih telah menjadi bagian dari alasan terbesar dalam setiap langkah penulis. Hadirmu mengajarkan tentang makna menjaga, menyayangi tanpa syarat, dan memberi tanpa meminta kembali. Dalam setiap harapan yang penulis tanam, selalu ada dirimu sebagai sosok yang ingin penulis lindungi meski dengan cara yang tak selalu terlihat. Kamu adalah nyala kecil yang membuat penulis ingin menjadi versi terbaik dari diri penulis, agar kelak engkau tahu bahwa dunia bisa di tempuh dengan hati yang penuh kasih dan keberanian. Tumbuhlah menjadi dirimu sendiri, dengan langkah yang mantap dan hati yang luas. Dunia akan menjagamu, sebagaimana penulis akan selalu berusaha menjagamu dalam doa dan cerita.
3. Ibu Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing yang bukan hanya membimbing secara akademik, tetapi juga menjadi pengarah, penyemangat, dan motivator yang luar biasa. Terima kasih yang sebesar-besarnya atas waktu, kesabaran, dan perhatian yang Ibu berikan selama proses penulisan tugas akhir ini. Tanpa bimbingan dan dukungan Ibu yang tulus, mungkin tugas akhir ini belum bisa selesai. Setiap nasihat dan motivasi dari

Ibu selalu menjadi penyemangat saat penulis merasa lelah. Terima kasih telah mempermudah setiap proses, selalu membuka pintu konsultasi dengan lapang, dan memahami setiap kesulitan yang penulis hadapi. Ibu bukan hanya membimbing dengan ilmu, tetapi juga dengan hati. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan, serta balasan terbaik untuk setiap kebaikan yang Ibu berikan.

4. Kepada keluarga besar terima kasih selalu mendoakan dan menyemangatiku. Semoga kalian selalu diberikan kesehatan, kelancaran rezeki, kemudahan di segala urusannya dan selalu dalam lindungan Allah SWT.
5. Kepada Muhammad Hizbulloh Furqon, rekan dalam Tugas Akhir, sekaligus teman seperjalanan selama masa perkuliahan. Dari berbagai tantangan yang kita hadapi bersama hingga akhirnya menyelesaikan tugas akhir ini, penulis sangat berterima kasih atas kesabaran, kebaikan dan dukungan yang begitu besar. Terima kasih telah menjadi pribadi yang selalu mengerti, memaklumi kekurangan penulis, dan tetap ada dalam proses yang tidak mudah ini. Sangat bersyukur bisa belajar dan tumbuh bersama kamu.
6. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, terima kasih untuk satu nama yang sulit penulis hapus yaitu Yunita Eka Pratiwi. Ucapan terima kasih banyak sudah pernah membersamai penulis di akhir tahun 2020 yang menjadi salah satu penyemangat dan motivasi untuk tetap berkuliah. Terima kasih telah menjadi rumah tempat berkeluh kesah diwaktu lelah penulis, menjadi pendengar yang baik, penasehat yang baik, senantiasa memberikan cinta dan semangat untuk tidak pantang menyerah. Tetaplah menjadi kamu

seperti kamu membuat penulis nyaman menjadi diri sendiri dengan segala kekurangan. Kini kita tak lagi berjalan bersama seperti dulu. Namun, dalam diam penulis tetap menyimpan rasa syukur pernah mengenalmu. Karena bagaimanapun, penulis akan tetap mengenalmu sebagai *first experience* penulis. Sebagai seseorang yang kehadirannya tak pernah disangka-sangka, seseorang yang tak pernah sama sekali penulis sangka akan menjadi kenangan yang paling indah. Diperjalanan yang panjang ini, jangan jadi milik siapapun dulu ya? dan bumi luas sekali, tapi untungnya kita bertemu. Terima kasih, selamat berkelana.

7. Kepada Satrio, Eko Putra, Marinus, Wahyu, dan Ica teman seperjalanan yang senantiasa membersamai langkah ini. Kita datang dari arah yang berbeda, dipertemukan oleh waktu dan tempat yang sama, lalu tumbuh bersama dibawah langit perantauan yang tak selalu ramah. Terima kasih telah menjadi rumah dalam setiap langkah, kekuatan dalam setiap ragu, dan doa dalam setiap sunyi. Meski kelak jarak mungkin membentang, kenangan tentang kalian akan tetap utuh dan hangat.
8. Untuk Barudakknwell teman seperjuangan yaitu Lukman, Manto Azka, Mella, Lia, Caca, Encep, Miftah, Ade, dan Radifan. Teman seperjuangan yang menjadikan masa kuliah lebih besar dari sekedar ruang belajar. Terima kasih telah membuat tawa menjadi obat, dan hari-hari berat terasa lebih ringan. Tanpa kalian, perjalanan ini mungkin terasa hambar dan sunyi. Perjalanan ini terasa lebih ringan bukan karna jalannya berubah, tapi karena kalian menguatkan cara penulis melangkah. Kalian membuktikan bahwa pertemanan

semasa kuliah tidak seburuk yang sering diceritakan. Justru sebaliknya, menjadi kenangan terbaik yang akan selalu penulis simpan.

9. Kepada seseorang yang pernah bersama penulis dan tidak bisa penulis sebut namanya. Terima kasih untuk patah hati yang diberikan saat proses penyusunan tugas akhir ini. Ternyata perginya kamu dari kehidupan penulis berikan cukup motivasi untuk terus maju dan berproses menjadi pribadi yang mengerti apa itu pengalaman, pendewasaan, sabar, dan menerima arti kehilangan sebagai bentuk penempaan menghadapi dinamika hidup. Terima kasih telah menjadi bagian menyenangkan sekaligus menyakitkan dari pendewasaan ini. Pada akhirnya setiap orang ada masanya dan setiap masa ada orangnya. Episode mengagumimu telah selesai, asinglah dan selamat berkelana.
10. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada satu sosok yang selama ini telah berjuang tanpa banyak terlihat, yang berusaha tegar di tengah keterbatasan, dan memilih untuk tetap melangkah meski seringkali diselimuti keraguan. Terima kasih kepada penulis Tugas Akhir ini yaitu diriku sendiri, Rudin Priyanto anak sulung yang sedang menapaki usia 22 tahun, dengan segala karakter dan perjalanannya yang tidak mudah. Jangan berhenti jadi dirimu sendiri, meski dunia kadang memintamu berubah, berbahagialah dimanapun kamu berpijak. Rayakanlah hal-hal kecil dalam dirimu, dan teruslah bersinar meski dalam sunyi. Semoga mimpimu, meski pelan tetap menemukan jalannya. Dulu, kamu pikir dewasa adalah kebebasan. Tapi ternyata ia adalah rantaian kewajiban. Dulu, kamu pikir dewasa adalah tahu segalanya, tapi ternyata ia adalah menelan ragu tanpa suara. Suatu hari kamu akan duduk dan

memberi selamat pada dirimu sendiri, lalu tersenyum dan berkata “itu sulit tapi kamu berhasil” baik-baik dalam prosesmu, selamat menata masa depanmu dan selamat berkelana. Dan semoga dimanapun kamu berpijak, kamu tahu kamu telah sejauh ini. Berbahagialah, tanpa syarat.

Rudin Priyanto

Teknik Kimia UII 2021

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
LEMBAR PERSEMBAHAN ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **xvii**
DAFTAR TABEL ..... **xxi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xxiii**
DAFTAR LAMBANG ..... **xxiv**
ABSTRAK ..... **xxvi**
ABSTRACT ..... **xxvii**
BAB I. PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Penentuan Kapasitas Pabrik 4
1.2.1. *Supply* 5
1.2.2. *Demand* 6
1.3. Tinjauan Pustaka 10
1.4. Tinjauan Termodinamika dan Kinetika 17
1.4.1. Tinajauan Kinetika 17
1.4.2. Tinjauan Termodinamika 19
BAB II. PERANCANGAN PRODUK **21**
2.1. Spesifikasi Produk 21
2.1.1. Formaldehid 21
2.2. Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung 22
2.2.1. Methanol 22
2.2.2. Oksigen 23
2.2.3. Nitrogen 23
2.2.4. Air 24
2.3. Pengendalian Kualitas 25

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku 25
2.3.2. Pengendalian Proses Produksi 26
2.3.3. Pengendalian Kualitas Produk 29
BAB III. PERANCANGAN PROSES 30
3.1. Diagram Alir Proses dan Material 30
3.1.1. Diagram Alir Kualitatif 30
3.1.2. Diagram Alir Kuantitatif 31
3.2. Uraian Proses 31
3.2.1. Persiapan Bahan Baku 31
3.2.2. Tahap Pembentukan Produk Formaldehid dari Metanol 32
3.2.3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian 33
3.3. Spesifikasi Alat 35
3.3.1. Spesifikasi Alat Proses 35
3.3.2. Spesifikasi Alat Penyimpanan 38
3.3.3. Spesifikasi Alat Transportasi 39
3.3.4. Spesifikasi Alat Penukar Panas 41
3.4. Neraca Massa 45
3.4.1. Neraca Massa Total 45
3.4.2. Neraca Massa Alat 46
3.5. Neraca Panas 48
3.5.1. Neraca Panas *Vaporizer* 48
3.5.2. Neraca Panas Separator 48
3.5.3. Neraca Panas Reaktor 49
3.5.4. Neraca Panas Absorber 49
3.5.5. Neraca Panas Heater 1 50
3.5.6. Neraca Panas *Heater* 2 50
3.5.7. Neraca Panas *Cooler* 1 51
3.5.8. Neraca Panas *Cooler* 2 51
BAB IV. PERANCANGAN PABRIK 52
4.1. Lokasi Pabrik 52
4.2. Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*) 56
4.3. Tata Letak Mesin / Alat Proses (*Machines Layout*) 61

4.3.1. Aliran Bahan Baku Produk 61
4.3.2. Aliran Udara 61
4.3.3. Pencahayaan 61
4.3.4. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan 62
4.3.5. Jarak antar Alat Proses 62
4.4. Organisasi Perusahaan 63
4.4.1. Tugas dan Wewenang 64
4.4.2. Jadwal Kerja dan Sistem Gaji Karyawan 69
BAB V UTILITAS 78
5.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air 80
5.1.1. Penyediaan Air 80
5.1.2. Sumber Air 84
5.1.3. Pengolahan Air 85
5.1.4. Spesifikasi Alat Utilitas 97
5.1.5. Diagram Unit Pengolahan Air 114
5.2. Unit Pembangkit *Steam* 115
5.3. Unit Pembangkit Listrik 116
5.4. Unit Penyedia Udara Tekan 121
5.5. Unit Penyedia Bahan Bakar 121
5.6. Unit Pengolahan Limbah 122
BAB VI EVALUASI EKONOMI 124
6.1. Penaksiran Harga Alat 126
6.2. Dasar Perhitungan 130
6.3. Perhitungan Biaya 130
6.3.1. Total Capital Investment 130
6.3.2. Manufacturing Cost 130
6.3.3. General Expense 131
6.4. Analisa Kekayaan 131
6.5. Hasil Perhitungan 134
6.6. Analisa Keuntungan 138
6.7. Hasil Kelayakan Ekonomi 138
6.8. Analisa Resiko 140

6.9. Analisa Kelayakan 141
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN 143
7.1. Kesimpulan 143
7.2. Saran 144
DAFTAR PUSTAKA 145
LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR 147
LAMPIRAN B. PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM 176
LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN 178

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Produksi Formaldehid di Indonesia 5
Tabel 1. 2 Data Produksi Formaldehid di Luar Negeri 5
Tabel 1. 3 Ekspor Formaldehid di Indonesia 6
Tabel 1. 4 Konsumsi Formaldehid di Indonesia..... 8
Tabel 1. 5 Parameter Proses Pembuatan Formaldehid dari Metanol 15
Tabel 1. 6 Data entalpi pembentukan standar senyawa..... 20
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan..... 38
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair..... 39
Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Gas 39
Tabel 3. 4 Lanjutan Spesfikasi Alat Transportasi Bahan Gas 40
Tabel 3. 5 Spesifikasi Vaporizer..... 41
Tabel 3. 6 Spesifikasi Heat Exchanger (HE-01) 42
Tabel 3. 7 Spesifikasi Heat Exchanger (HE-02) 43
Tabel 3. 8 Spesifikaasi Cooler (CL-01)..... 44
Tabel 3. 9 Spesifikasi Cooler (CL-02) 45
Tabel 3. 10 Neraca Massa Total 45
Tabel 3. 11 Neraca Massa Vaporizer..... 46
Tabel 3. 12 Neraca Massa Separator..... 46
Tabel 3. 13 Neraca Massa Reaktor..... 47
Tabel 3. 14 Neraca Massa Absorber..... 47
Tabel 3. 15 Neraca Panas Vaporizer..... 48
Tabel 3. 16 Neraca Panas Separator..... 48
Tabel 3. 17 Neraca Panas Reaktor..... 49
Tabel 3. 18 Neraca Panas Absorber..... 49
Tabel 3. 19 Neraca Panas Heater 1..... 50
Tabel 3. 20 Neraca Panas Heater 2..... 50
Tabel 3. 21 Neraca Panas Cooler 1 51
Tabel 3. 22 Neraca Panas Cooler 2 51
Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah Bangunan Pabrik 58
Tabel 4. 2 Sistem Kerja Karyawan..... 73
Tabel 4. 3 Jadwal Shift Karyawan..... 73
Tabel 4. 4 Jumlah dan Gaji Karyawan 75
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air untuk Keperluan Umum 81
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin..... 82
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Umpan Boiler 83
Tabel 5. 4 Total Kebutuhan Air 85
Tabel 5. 5 Spesifikasi Alat Penyimpanan..... 109
Tabel 5. 6 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 1 110
Tabel 5. 7 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 2 111
Tabel 5. 8 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 3 111

Tabel 5. 9 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan 4 112
Tabel 5. 10 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 5 113
Tabel 5. 11 Spesifikasi Generator Listrik 117
Tabel 5. 12 Kebutuhan Listrik Alat Proses 117
Tabel 5. 13 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas 118
Tabel 5. 14 Total Kebutuhan Listrik 121
Tabel 5. 15 Kebutuhan Bahan Bakar 122
Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat 126
Tabel 6. 2 Physical Plant Cost 135
Tabel 6. 3 Direct Plant Cost 135
Tabel 6. 4 Fixed Capital Investment (FCI) 135
Tabel 6. 5 Direct Manufacturing Cost (DMC) 135
Tabel 6. 6 Indirect Manufacturing Cost (IMC) 136
Tabel 6. 7 Fixed Manufacturing Cost (FMC) 136
Tabel 6. 8 Manufacturing Cost (MC) 136
Tabel 6. 9 Working Capital 136
Tabel 6. 10 General Expense 137
Tabel 6. 11 Total Production Cost (TPC) 137
Tabel 6. 12 FIxed Cost (Fa) 137
Tabel 6. 13 Variabel Cost (Va) 137
Tabel 6. 14 Regulated Cost (Ra) 137
Tabel 6. 15 Analisis Resiko 140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Ekspor Formaldehid di Indonesia 7
Gambar 1. 2 Grafik Konsumsi Formaldehid di Indonesia 8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif 30
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif 31
Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik 55
Gambar 4. 2 Tata Letak Bangunan PAbrik dengan Skala 1:1000 60
Gambar 4. 3 Gambar Tata Letak Alat Proses dengan Skala 1:500 62
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi 64
Gambar 5. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air 114
Gambar 6. 1 Grafik Regeresi Linear dari Indeks Harga Alat 129
Gambar 6. 2 Grafik BEP dan SDP 139

DAFTAR LAMBANG

A	=	Luas permukaan
BM	=	Berat Molekul
Cp	=	Kapasitas panas spesifik tekanan konstan
Cv	=	Kapasitas panas spesifik volume konstan
Dp	=	Diameter partikel atau pipa
Ea	=	Energi aktivasi
F	=	Laju alir molar atau massa
Fa	=	Fixed Cost
FCp	=	Biaya investasi tetap peralatan
FC	=	Fixed Capital
H	=	Enthalpi
Hf°	=	Enthalpi pembentukan standar
Hr	=	Perubahan entalpi reaksi
i	=	Suku bunga tahunan (interest rate)
ID, OD	=	Inner/Outer Diameter (diameter dalam/luar pipa)
k	=	Konstanta laju reaksi
Lp	=	Panjang partikel
LC, TC, PC, FC	=	Level, Temperature, Pressure, Flow Control
MC	=	Manufacturing Cost
m	=	Massa
n	=	Umur proyek / pabrik
P	=	Tekanan
Q	=	Laju perpindahan panas
r	=	Laju reaksi kimia
R	=	Konstanta gas umum (8,314)

Ra	=	Regulated Cost
Rdmin	=	Minimum resistance terhadap fouling
Rdcal	=	Perhitungan nilai fouling resistance
S	=	Entropi
SV	=	Salvage Value (nilai akhir investasi)
T	=	Suhu
TPC	=	Total Production Cost
V	=	Volume
Va	=	Variable Cost
WC	=	Working Capital
x, y	=	Fraksi mol komponen dalam campuran
ΔH	=	Perubahan entalpi
ΔS	=	Perubahan entropi
ΔG	=	Perubahan energi bebas Gibbs
τ (tau)	=	Waktu tinggal
Φ (phi)	=	Efisiensi (misal untuk heat exchanger)
μ	=	Viskositas
ρ	=	Massa jenis
λ	=	Konduktivitas termal
σ	=	Tegangan permukaan
ψ	=	Efisiensi proses

ABSTRAK

Formaldehida merupakan senyawa kimia penting yang digunakan secara luas dalam industri resin, perekat, tekstil, pertanian, hingga farmasi. Prarancangan pabrik formaldehid ini menggunakan bahan baku metanol dan udara dengan kapasitas produksi sebesar 15.000 ton/tahun dan direncanakan berdiri di Bontang, Kalimantan Timur dengan luas lahan sekitar 47.855 m². Proses produksi menggunakan katalis, yaitu *iron molybdenum oxide*, dalam reaktor *fixed bed multitube* pada suhu operasi 275 °C dan tekanan 1 atm. Bahan baku yang dibutuhkan setiap tahunnya adalah 5.901,21 ton metanol dan 4.539,32 ton udara, menghasilkan produk berupa formaldehid dengan kemurnian 37%. Utilitas yang dibutuhkan meliputi air proses sebesar 3355,55 kg/jam dari Laut, uap jenuh 6.000 kg/jam, dan energi listrik 86,05 kWh yang disuplai oleh PLN dan didukung oleh generator cadangan. Pabrik akan beroperasi selama 330 hari per tahun selama 24 jam per hari, dengan total tenaga kerja sebanyak 86 orang. Analisis ekonomi menunjukkan bahwa total *Fixed Capital Investment* (FCI) yang dibutuhkan adalah Rp122.251.660.564, sedangkan *Working Capital* (WC) sebesar Rp158.680.906.784. Laba sebelum pajak tercatat sebesar Rp 26.668.626.811, dan laba sesudah pajak mencapai Rp17.334.607.427. Nilai ROI sebelum dan sesudah pajak masing-masing sebesar 21,81% dan 14,17%, dengan *Pay Out Time* (POT) selama 3,35 tahun dan 4,5 tahun. *Break Even Point* (BEP) berada pada 50,41%, *Shut Down Point* (SDP) pada 27,68%, dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFR) sebesar 10,71%. Berdasarkan hasil evaluasi, pabrik ini layak untuk didirikan secara teknis dan ekonomis.

Kata kunci: Evaluasi Ekonomi, *Fixed Bed Multitube*, *Formaldehid*, *Iron Molybdenum Oxide*, Prarancangan Pabrik

ABSTRACT

Formaldehyde is an important chemical compound widely used in the resin, adhesive, textile, agricultural, and pharmaceutical industries. This plant design utilizes methanol and air as raw materials with a production capacity of 15,000 tons/year. The plant is planned to be built in Bontang, East Kalimantan, on a land area of approximately 47,855 m². The production process uses iron molybdenum oxide catalyst in a fixed-bed multitube reactor operated at 275 °C and 1 atm. The annual raw material requirement includes 5,901.21 tons of methanol and 4,539.32 tons of air, producing formaldehyde with a purity of 37%.The required utilities include 3,355.55 kg/h of process water sourced from the sea, 6,000 kg/h of saturated steam, and 86.05 kWh of electricity supplied by PLN and supported by a backup generator. The plant will operate 330 days per year, 24 hours per day, employing a total of 86 personnel.Economic analysis shows that the total Fixed Capital Investment (FCI) required is Rp122.251.660.564, while the Working Capital (WC) is Rp158.680.906.784. The profit before tax is Rp 26.668.626.811,36, and the net profit after tax is Rp17.334.607.427. The Return on Investment (ROI) is 21.81% before tax and 14.17% after tax, with a Pay Out Time (POT) of 3.35 years and 4.5 years, respectively. The Break Even Point (BEP) is 50.41%, the Shutdown Point (SDP) is 27.68%, and the Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR) is 10.71%. Based on these evaluations, the plant is considered technically and economically feasible.

Keywords: *Economic Evaluation, Fixed Bed Multitube, Formaldehyde, Iron Molybdenum Oxide, Plant Design.*

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang kaya akan sumber daya alam serta sumber daya manusia. Dalam upaya mempercepat pembangunan nasional, sudah sepatutnya Indonesia mengembangkan sektor industri yang berperan penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan menciptakan lapangan pekerjaan. Potensi sumber daya yang dimiliki memungkinkan perkembangan di berbagai sektor, termasuk sektor industri yang berbasis pada modal besar maupun teknologi tinggi, dengan prospek pemasaran yang menjanjikan. Salah satu jenis industri yang memenuhi kriteria tersebut adalah industri kimia formaldehid.

Industri kimia formaldehid merupakan salah satu sektor industri yang memiliki prospek pengembangan dan pemasaran yang cukup menjanjikan. Formaldehid (CH_2O), atau dikenal juga sebagai metanal atau formalin, adalah senyawa aldehid paling sederhana. Di pasaran, senyawa ini umumnya tersedia dalam bentuk larutan cair dengan konsentrasi sekitar 37%. Larutan formaldehid 37% banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku maupun bahan tambahan dalam berbagai bidang industri. Beberapa industri yang memerlukan formaldehid antara lain industri tekstil, konstruksi, otomotif, kertas, minyak dan gas, serta sektor kesehatan dan farmasi. Salah satu aplikasi spesifik dari formaldehid 37% adalah sebagai insektisida untuk mengendalikan populasi lalat dan serangga lainnya.

Industri formaldehid merupakan salah satu sektor penting dalam industri kimia karena perannya yang strategis dalam menunjang berbagai bidang industri lainnya. Formaldehid adalah senyawa paling sederhana dari golongan aldehida dan

memiliki nilai penting sebagai bahan baku dalam banyak proses produksi industri. Kebutuhan akan formaldehid terus meningkat seiring berkembangnya sektor-sektor yang menggunakannya, seperti industri tekstil, plastik, perekat, hingga farmasi. Di Indonesia, ketersediaan bahan baku utama untuk produksi formaldehid, yaitu metanol dan udara, sangat melimpah. Salah satu sumber utama metanol di Indonesia berasal dari PT Kaltim Methanol Industri (KMI) yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur. Dengan tersedianya pasokan metanol dalam jumlah besar, maka pendirian dan pengembangan industri formaldehid di Indonesia sangat potensial untuk direalisasikan.

Beberapa sektor industri yang membutuhkan formaldehid:

1. Industri Tekstil

   Salah satu turunan formaldehid, yaitu n-Methylol, digunakan dalam industri tekstil untuk menghasilkan kain yang tahan lipatan, tidak mudah kusut, dan lebih awet.

2. Industri Kertas

   Formaldehid dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam proses pembuatan kertas agar memiliki sifat tahan kusut dan tidak mudah tembus minyak.

3. Industri Minyak Bumi

   Formaldehid digunakan sebagai agen pemurni dan penyaring dalam pengolahan bahan bakar cair serta berbagai produk turunan hidrokarbon lainnya.

4. Industri Kesehatan dan Farmasi

Formaldehid dimanfaatkan untuk menurunkan efek racun yang ditimbulkan oleh virus, gigitan ular, maupun hewan reptil lainnya. Selain itu, formaldehid juga digunakan secara langsung sebagai agen antimikroba, termasuk sebagai pembunuh kuman, fungi (jamur), dan bakteri.

Industri formaldehid merupakan salah satu sektor penting dalam industri kimia karena perannya yang strategis dalam menunjang berbagai bidang industri lainnya. Formaldehid adalah senyawa paling sederhana dari golongan aldehida dan memiliki nilai penting sebagai bahan baku dalam banyak proses produksi industri.

Formaldehid tidak hanya dimanfaatkan dalam sektor industri, tetapi juga memiliki peran penting di bidang lain. Dalam sektor pertanian, formaldehid digunakan sebagai bahan pendukung dalam produksi pupuk urea, sedangkan di bidang medis, senyawa ini dimanfaatkan dalam proses pengeringan jaringan kulit.

Formaldehid telah lama dikenal sebagai zat yang digunakan dalam proses pengawetan, termasuk pengawetan jenazah sejak akhir abad ke-19. Penggunaan formaldehid sebagai bahan pengawet mayat telah tercatat sejak tahun 1899, terutama pada era *Wild West* (Bedino, 2004).

Formaldehid dapat dimanfaatkan secara langsung dalam jumlah terbatas, antara lain sebagai bahan pengawet, zat untuk keperluan penelitian, serta sebagai desinfektan di lingkungan rumah sakit (Ulman, 1971).

Produksi formaldehid umumnya dilakukan melalui dua metode, yaitu proses dengan Katalis Perak (*Silver Catalyst*) dan proses dengan Katalis

Oksida Logam (*Metal Oxide Catalyst*). Pada proses *Silver Catalyst*, metanol dan udara bereaksi menggunakan katalis perak pada tekanan atmosfer dan suhu tinggi, sekitar 600–650 °C. Sementara itu, proses *Metal Oxide Catalyst* memanfaatkan metanol dan udara dengan katalis logam oksida pada suhu 300–400 °C dan tekanan antara 1 hingga 1,5 atm. Bahan baku utama dalam kedua proses ini adalah metanol dan udara, di mana udara diperoleh dari alam dan metanol dipasok oleh PT Kaltim Methanol Industri yang memiliki kapasitas produksi sebesar 660.000 ton per tahun.

1.2. Penentuan Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi merupakan jumlah maksimum produk yang dapat dihasilkan dalam jangka waktu tertentu. Penentuan kapasitas pabrik menjadi tahapan awal yang krusial sebelum merancang atau mendirikan sebuah pabrik kimia. Besarnya kapasitas ini sangat memengaruhi perhitungan teknis maupun ekonomis, karena bertujuan untuk memperoleh keuntungan optimal dengan biaya produksi serendah mungkin. Dalam menentukan kapasitas pabrik, perlu dipertimbangkan data pasokan yang mencakup produksi domestik dan impor, serta data permintaan yang meliputi konsumsi dalam negeri dan ekspor.

Permintaan formaldehid di Indonesia menunjukkan tren peningkatan setiap tahunnya. Kondisi ini menyebabkan Indonesia masih bergantung pada impor formaldehid dari beberapa negara seperti Jepang, Malaysia, dan Jerman. Oleh karena itu, dalam menentukan kapasitas prarancangan pabrik formaldehid, diperlukan pertimbangan terhadap beberapa faktor berikut:

1.2.1. *Supply*

Beberapa pabrik formaldehid telah beroperasi di Indonesia, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.1. Informasi mengenai kapasitas produksi dari pabrik-pabrik yang sudah beroperasi tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kapasitas minimum dalam perancangan pabrik. Daftar nama pabrik formaldehid beserta kapasitas produksinya disajikan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Data Produksi Formaldehid di Indonesia

No.	Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)	Lokasi
1.	PT. Arjuna Utama Kimia	23.000	Surabaya
2.	PT. Dover Chemical	60.000	Serang
3.	PT. Duta Pertiwi Nusantara	50.000	Pontianak
5.	PT. Pamolite Adhesive Industry	36.000	Jawa Timur
7.	PT. Belawan Deli Chemical	30.000	Medan
8.	PT. Putra Sumber Kimindo	48.000	Jambi
9.	PT. Borneo Karya Persada	35.000	Samarinda
10.	PT. Korindo Abadi	50.000	Papua
Total		332.000	

Tabel 1. 2 Data Produksi Formaldehid di Luar Negeri

No.	Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)	Lokasi
1.	Perechyn Timber-and-Chemical Combine	± 13.482	Ukraina
2.	Phoenix Equipment – Used Plant listing	15.000	Rusia
3.	Chemanol (Methanol Chemicals Company)	17.500	Mesir
4.	TogliattiAzot – UFC plant	25.000	Sheksninsky
Total		70.982	

Berdasarkan data impor dan produksi formaldehid di Indonesia pada tahun 2029 yang telah diketahui, maka dapat ditentukan nilai *supply* (penyediaan) dari formaldehid di Indonesia, yaitu:

Supply = Produksi

Supply = 332.000 ton/tahun

1.2.2. *Demand*

Permintaan (*demand*) didefinisikan sebagai total jumlah barang atau jasa yang diinginkan oleh konsumen atau individu pada berbagai tingkat harga dalam kurun waktu tertentu.

a. Ekspor

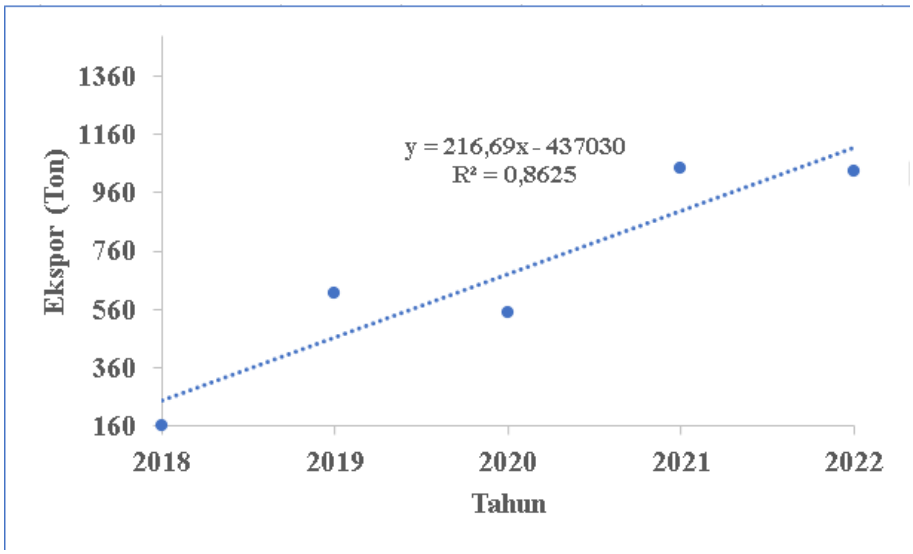
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), volume ekspor formaldehid Indonesia ke berbagai negara mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun, namun secara umum menunjukkan tren peningkatan selama periode 2018 hingga 2022, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Ekspor Formaldehid di Indonesia

Tahun	Ekspor (Ton)
2018	162
2019	614
2020	549
2021	1042
2022	1031.44
Total	56.966

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024)

Dari data ekspor di atas dibuat grafik linear antara data tahun sumbu x dan data ekspor sumbu y, grafik dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Grafik Ekspor Formaldehid di Indonesia

Nilai perkiraan ekspor formaldehid pada tahun 2029 atau pada saat pembangunan pabrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan y = 216,69x - 437030 dengan keterangan nilai x adalah tahun pembangunan pabrik dan nilai y adalah jumlah ekspor. Dengan persamaan tersebut diperkirakan pada tahun 2029 kebutuhan ekspor formaldehid adalah sebesar:

y = 216,69x – 437030

y = 216,69 (2029) – 437030

y = 2.634,01 ton/tahun

b. Konsumsi

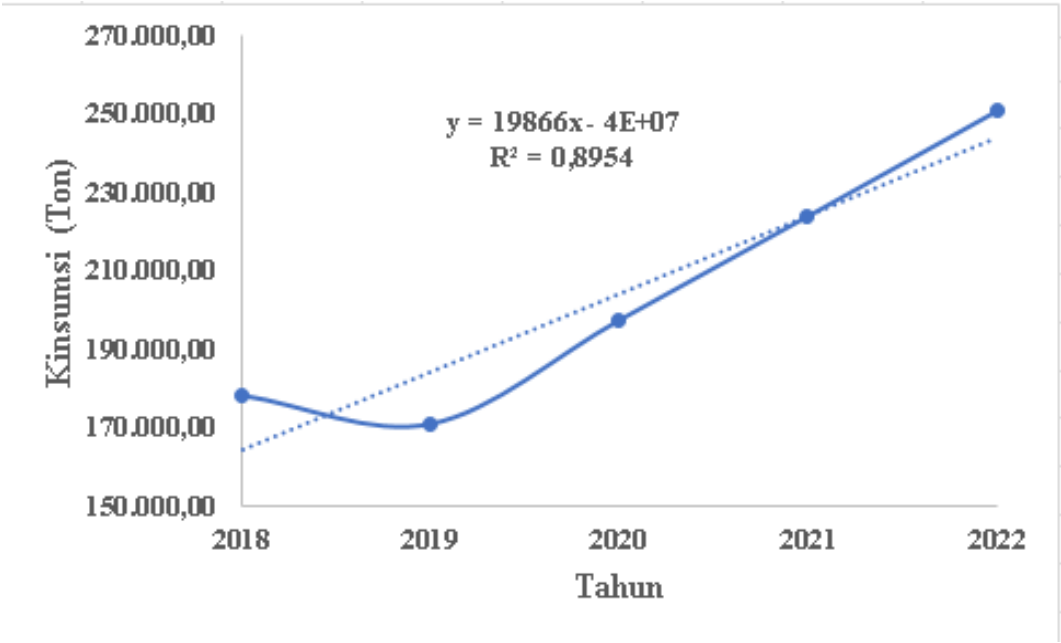
Kebutuhan formaldehid di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya, berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Informasi mengenai konsumsi atau pemanfaatan formaldehid di Indonesia selama periode 2018 hingga 2022 disajikan pada Tabel 1.4.

Tabel 1. 4 Konsumsi Formaldehid di Indonesia

Tahun	Konsumsi (Ton)
2018	178.163,14
2019	170.921,37
2020	197.494,65
2021	224.067,93
2022	250.918,99
Total	**686.965,93**

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024)

Dari data kebutuhan formaldehid di atas dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data konsumsi pada sumbu y, grafik dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Grafik Konsumsi Formaldehid di Indonesia

Perkiraan kebutuhan formaldehid di Indonesia pada tahun-tahun mendatang dapat dihitung menggunakan persamaan: y = 19.866x – 40.000.000, dimana x adalah tahun da y merupakan jumlah kebutuhan formaldehid. Berdasarkan

persamaan ini, kebutuhan formaldehid di Indonesia pada tahun 2029 diperkirakan akan mencapai 348.694 ton/tahun. Jumlah ini diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut:

y = 19.866x – 40.000.000

y = 19.866 (2029) – 40.000.000

y = 348.694 ton/tahun

Berdasarkan data ekspor dan konsumsi di Indonesia pada tahun 2029, maka dapat ditentukan nilai demand dari formaldehid di Indonesia adalah:

Demand = Ekspor + Konsumsi

= (2.634,01 + 348.694) ton/tahun

= 351.388,01 ton/tahun

Berdasarkan proyeksi impor, ekspor, konsumsi dan produksi pada tahun 2029. Maka, peluang pasar untuk formaldehid dapat ditentukan kapasitas pabrik sebagai berikut:

Peluang = *Demand – Supply*

= 351.388 – 332.000

=19.388 ton/tahun

Dari data dan hasil perhitungan serta mengacu pada industri yang sudah beroperasi maka perancangan pabrik formaldehid ini akan dibangun dengan kapasitas sebesar 15.000 ton/tahun sudah sesuai dengan kapasitas yang sudah beroperasi.

1.3. Tinjauan Pustaka

Formaldehid (CH_2O) merupakan senyawa paling sederhana dari golongan aldehida dan dikenal juga dengan nama lain metanal atau formalin. Struktur molekul formaldehid menyimpang dari formula umum aldehida karena tidak memiliki gugus alkil (R), melainkan hanya terdiri dari atom hidrogen yang terikat langsung pada gugus karbonil, sehingga rumus strukturnya dituliskan sebagai H–CHO. Dalam gugus fungsinya, dua atom hidrogen terikat pada atom karbon karbonil.

Formaldehid memiliki massa molar sebesar 30,026 g/mol dan mudah larut dalam pelarut polar seperti air (baik panas maupun dingin), alkohol, aseton, serta dietil eter. Senyawa ini umumnya diperoleh melalui proses oksidasi metanol menggunakan udara dengan bantuan katalis. Keunggulan proses produksinya adalah biaya yang relatif rendah, menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi, serta dapat dilakukan melalui berbagai jenis reaksi kimia. Hal ini menjadikan formaldehid sebagai salah satu bahan kimia industri yang paling banyak diproduksi secara global (Bizzari, 2007).

Di pasaran, formaldehid biasanya tersedia dalam bentuk larutan dengan konsentrasi 37%, tidak berwarna, memiliki bau khas yang menyengat, serta mudah terurai jika dipanaskan. Titik didihnya tercatat pada 90 °C, dengan viskositas sebesar 2 cP pada suhu standar 25 °C (Penry et al., 2000).

Dari segi reaktivitas, formaldehid tergolong sebagai reduktor kuat yang dapat bereaksi intensif dengan oksidator maupun berbagai senyawa organik. Namun, senyawa ini juga bersifat toksik dan iritatif terhadap kulit, sehingga perlu

penanganan yang hati-hati. Selain itu, formaldehid tidak disarankan disimpan dalam jangka waktu lama karena memiliki kecenderungan membentuk asam format dan mudah mengalami polimerisasi. Struktur molekul formaldehid ditunjukkan pada gambar berikut:

Formaldehid memiliki berbagai kegunaan dalam industri kimia, terutama sebagai bahan dasar dalam sintesis senyawa turunan seperti urea-formaldehid, fenol-formaldehid, melamin-formaldehid, trimetilolpropana, trioxane, 1,4-butandiol, serta neopentil glikol. Senyawa-senyawa tersebut banyak digunakan dalam produksi plastik poliuretan dan poliester, resin sintetis, pelapis (coating), hingga pelumas sintetis (Kirk & Othmer, 1980). Selain itu, dalam skala kecil, formaldehid juga digunakan secara langsung sebagai bahan penelitian, disinfektan di fasilitas kesehatan, serta bahan pengawet untuk berbagai produk rumah tangga seperti pembersih lantai, pembersih karpet, sampo mobil, semir sepatu, dan lilin.

Dalam produksi formaldehid melalui proses oksidasi alkohol primer, terdapat beberapa metode yang dibedakan berdasarkan jenis katalis yang digunakan. Di industri, proses-proses ini telah diimplementasikan secara luas dalam skala komersial. Berikut adalah beberapa metode produksi formaldehid dari metanol yang telah diterapkan dalam dunia industri:

a. Proses Hidrokarbon

Proses ini dilakukan dengan mereaksikan metana bersama campuran metanol, udara, dan uap air (*steam*) menggunakan katalis tembaga atau perak pada suhu sekitar 500 °C. Namun, proses ini memiliki kelemahan, yaitu di samping terbentuknya formaldehid, juga dihasilkan produk samping seperti asetaldehid,

propanol, propanadiol, berbagai asam organik, serta sisa metanol yang tidak bereaksi. Akibatnya, diperlukan tahap pemurnian lanjutan untuk memperoleh formaldehid dengan kemurnian yang diinginkan, sehingga proses ini menjadi tidak efisien secara ekonomi dan hasilnya kurang memuaskan. Oleh karena itu, proses berbasis hidrokarbon ini tidak lagi dikembangkan dalam industri (Faith & Keyes, 1959).

b. Proses Metanol

- **Proses Perak**

Proses ini memanfaatkan katalis perak (Ag) untuk mempercepat reaksi katalitik antara metanol dan oksigen. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis dan dijalankan dalam *reaktor fixed bed* pada kisaran suhu 560 °C hingga 620 °C dengan tekanan sedikit di atas tekanan atmosfer (McKetta, 1988). Katalis perak yang digunakan berbentuk kristal dan disusun di dalam tabung reaktor. Umur katalis ini berkisar antara 8 hingga 12 bulan, namun sifatnya cukup sensitif terhadap kontaminasi. Katalis perak mudah teracuni oleh senyawa belerang (*sulfur*) serta beberapa logam dari golongan logam transisi, yang dapat menurunkan efektivitas dan umur katalis secara signifikan.

Dalam proses ini formaldehid dihasilkan dengan reaksi oksidasi dan dengan reaksi dehidrogenasi. Reaksi yang terjadi adalah:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O \qquad (1)$$

$\Delta H_r°(298)$ = -37,3 kkal/gmol

$$CH_3OH \rightarrow CH_2O + H_2O \qquad (2)$$

$\Delta H_r°(298)$ = + 20,31 kkal/gmol

Produk keluaran dari reaktor didinginkan secara cepat menggunakan pendingin *thermal fluid*, kemudian dialirkan menuju absorber untuk diserap menggunakan air. Namun, proses ini berpotensi menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, larutan hasil absorpsi yang mengandung sekitar 42% formaldehid selanjutnya dialirkan ke menara distilasi untuk melakukan proses recovery dan daur ulang (*recycle*) terhadap metanol yang tidak bereaksi (McKetta, 1988).

Pada reaksi pertama, sekitar 50%–60% formaldehid terbentuk melalui reaksi eksotermis, sedangkan pada reaksi kedua, formaldehid terbentuk dari sisa metanol melalui reaksi endotermis. Beberapa produk samping yang dihasilkan meliputi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), dan asam format. Proses ini menggunakan katalis perak dengan kondisi operasi suhu antara 560°C hingga 620°C (1040°F–1148°F) dan tekanan sedikit di atas tekanan atmosfer. Konversi metanol per siklus berada pada kisaran 65%–75%, dengan kontrol ketat terhadap batas eksplosif umpan dan konversi total oksigen dalam sistem.

Metanol yang tidak bereaksi kemudian dipisahkan dari campuran dan dialirkan kembali ke sistem sebagai *recycle*. Berdasarkan data, konversi metanol dalam reaktor mencapai 65,1%, sementara *yield* keseluruhan formaldehid sebesar 89,1%. Untuk mencapai konversi metanol yang lebih tinggi, proses ini dapat dioperasikan dengan rasio udara terhadap metanol sebesar 0,5–1,5 lb steam/lb metanol, serta pada suhu reaktor 600–700°C.

Tujuannya adalah menghasilkan larutan formaldehid akhir dengan kandungan metanol hanya 2–5% berat, sehingga mengurangi kebutuhan proses distilasi.

Konsentrasi formaldehid dalam produk akhir juga dapat ditingkatkan, dan air dari proses absorpsi dapat dimanfaatkan kembali. Jika dibutuhkan, kadar metanol dalam produk dapat diturunkan hingga sekitar 0,5% berat, dan hal ini dapat dicapai melalui penyesuaian pada tahap perancangan, operasi reaktor, maupun unit distilasi.

- **Proses *Mixed Oxide* (*Haldor Topsoe*)**

Proses *Haldor Topsoe*, yang termasuk dalam kategori *Metal Oxide Catalyst*, memanfaatkan metanol dan oksigen dari udara sebagai bahan baku utama. Sebelum memasuki reaktor, bahan baku tersebut melalui tahap *pretreatment*, di mana metanol diuapkan dan dipanaskan hingga mencapai temperatur operasi yang sesuai. Reaksi berlangsung dalam *reaktor fixed bed multitube.*

Katalis yang digunakan merupakan campuran *molybdenum oxide* (MoO_3) dan *iron oxide* (Fe_2O_3) dengan rasio komposisi 1:5:3. Katalis ini berbentuk *granular* atau *spherical* dan memiliki umur operasional sekitar 12 hingga 15 bulan.

Reaksi berlangsung pada rentang suhu 280°C hingga 590°C dengan tekanan yang mendekati atmosfer. Dalam proses ini, udara berlebih (*excess air*) digunakan untuk memastikan konversi metanol yang tinggi, yaitu sekitar 98,4%, sekaligus menjaga sistem tetap berada di luar rentang batas eksplosif

metanol, yang berada pada 6,7%–36,5% volume dalam udara. Proses ini menghasilkan *yield* formaldehid sebesar 94,4% (McKetta, 1983).

Reaksi utama:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O \qquad (1)$$

$\Delta H_r°(298)$ = -37,3 kkal/gmol

Reaksi samping:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + H_2O \qquad (2)$$

Gas hasil keluaran dari reaktor didinginkan hingga mencapai suhu sekitar 50°C, kemudian dialirkan ke bagian bawah absorber yang dilengkapi dengan bahan isian (*packing material*). Di dalam unit ini, gas bereaksi dengan air penyerap yang diumpankan dari bagian atas absorber, sehingga formaldehid dapat terlarut dalam fase cair. Proses ini kemudian dilanjutkan dengan tahap pemurnian, yang bertujuan untuk memisahkan formaldehid dari senyawa hasil samping yang terbentuk selama reaksi.

Tabel 1. 5 Parameter Proses Pembuatan Formaldehid dari Metanol

Parameter	**Hidrokarbon**	**Perak**	***Metal Oxide***
Suhu	500°C	560°C - 620°C	250°C - 400°C
Tekanan	100-300 psi	1-2 atm	1-1,5 atm
katalis	Tembaga atau Perak	Perak (Ag) (umur katalis 8-12 bulan)	*Molybdenum oxide* dan *Iron oxide* (umur katalis 12-15 bulan)
Reaktor	Menggunakan metana, metanol, udara, dan steam	*Fixed bed reactor* dengan rasio udara/metanol 0.5-1.5	*Fixed bed multi-tube reactor* dengan *excess* udara
yield	-	89,1%	94,4%
Konversi	-	65,1%	98,4%

Parameter	Hidrokarbon	Perak	*Metal Oxide*
biaya	Tinggi karena proses pemurnian kompleks	Berdasarkan referensi, Mc Ketta *total fixed capital investment* US 4.600.000	Berdasarkan referensi, Mc Ketta *total fixed capital investment* US 5.400.000

Berdasarkan Tabel 1.5, dapat dilihat perbedaan karakteristik antara proses berbasis hidrokarbon, proses dengan katalis perak, dan proses dengan *mixed oxide* (katalis logam oksida). Di antara ketiga metode tersebut, proses *Metal Oxide Catalyst* dinilai sebagai pilihan yang paling tepat untuk digunakan dalam rancangan pabrik formaldehid, dengan mempertimbangkan beberapa faktor berikut:

1. Kondisi operasi pada proses *Mixed Oxide* (Haldor Topsoe) memiliki rentang suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan proses katalis perak. Perbedaan ini memberikan keuntungan dalam hal desain peralatan, karena kebutuhan terhadap pemanas (*heat exchanger*) menjadi lebih rendah, serta sistem keselamatan proses dapat lebih mudah dikendalikan dan diawasi.
2. Proses ini memiliki nilai konversi dan *yield* yang tinggi, yang berarti mampu menghasilkan jumlah produk yang lebih besar dari jumlah bahan baku yang sama jika dibandingkan dengan proses menggunakan katalis perak. Hal ini menjadikan proses *Mixed Oxide* lebih efisien dari segi pemanfaatan bahan baku.
3. Dari sisi ekonomi, proses *Metal Oxide* lebih menguntungkan. Berdasarkan referensi dari McKetta (Vol. 23, hlm. 365), nilai *Total Fixed Capital Investment (*TFCI*)* untuk proses ini dengan kapasitas yang sama

(dalam satuan lb/tahun) adalah sekitar US$ 4.600.000, lebih rendah dibandingkan dengan proses katalis perak yang mencapai US$ 5.400.000. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses *Metal Oxide* lebih ekonomis dalam hal kebutuhan investasi awal.

1.4. Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1. Tinajauan Kinetika

Menurut Ruwida (2018), persamaan reaksi dan persamaan kinetika yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O \qquad (1)$$

$$-r_{CH3OH} = 4{,}762 \times 10^{-5} \times exp\left[-17.630 \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{485}\right)\right] P_{CH3OH}{}^{0,5}\ P_{O2}{}^{0,1}$$

Keterangan:

r	: Kecepatan reaksi	[kmol/kg.cat.s]
T	: Suhu	[K]
P	: Tekanan parsial	[N/m^2]

Persamaan umum laju reaksi:

$$r = k' exp^{\frac{-E}{R}\left[\frac{1}{T}\right]}$$

k’	: Faktor kinetika = $4{,}762 \times 10^{-5}$	
E	: Energi aktivasi	[kJ/kmol]
T	: Suhu	[k] = 485 k
R	: Konstanta gas	[cal/mol.k]

Variabel E dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$-\frac{17.630}{T} = -\frac{E}{R}\left[\frac{1}{T}\right]$$

$$-\frac{E}{R} = -17.630$$

$$E = R \times 17.630\ 0{,}19510{,}1$$

$$E = 8{,}314 \times 17.630 = 146.576 \text{ kJ/kmol}$$

Maka,

$$-r_{CH3OH} = 4{,}762 \times 10^{-5} \times exp\left[-17.630 \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{485}\right)\right] P_{CH3OH}{}^{0,5}\ P_{O2}{}^{0,1}$$

$$-r_{CH3OH} = 4{,}762 \times 10^{-5} \times exp\left[-17.630 \times \left(\frac{1}{548} - \frac{1}{485}\right)\right] P_{0,0221}{}^{0,5}\ P_{0,1951}{}^{0,1}$$

$$-r_{CH3OH} = 0{,}000485 \text{ kmol/kg.cat.s}$$

Dalam proses produksi formaldehid dari metanol, terdapat beberapa reaksi samping yang dapat menurunkan selektivitas terhadap formaldehid. Reaksi samping utama adalah oksidasi berlebih (*overoxidation*), di mana metanol atau formaldehid yang telah terbentuk teroksidasi lebih lanjut menjadi karbon dioksida (CO_2). Reaksi ini terjadi akibat interaksi antara senyawa organik dengan oksigen yang teradsorpsi di permukaan katalis, terutama spesies oksigen aktif seperti Oα dan Oγ. Oksidasi berlebih ini sangat dipengaruhi oleh suhu tinggi (umumnya di atas 450°C), waktu tinggal gas yang terlalu lama, serta konsentrasi oksigen yang tinggi, sehingga menyebabkan hilangnya produk formaldehid yang diinginkan.

Selain itu, formaldehid juga dapat mengalami dekomposisi termal pada suhu melebihi 350 °C, menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H_2). Proses ini bukan termasuk oksidasi, tetapi merupakan reaksi pirolisis yang dapat terjadi apabila formaldehid tidak segera dikeluarkan dari zona reaksi. Di sisi

lain, pada suhu tinggi dan kondisi oksidatif, formaldehid juga dapat bereaksi melalui mekanisme radikal bebas di fasa gas, yang mempercepat degradasi formaldehid menjadi produk lain seperti CO_2 atau senyawa oksigenasi lanjut, terutama jika tidak ada sistem pendinginan (quenching) yang efektif untuk menghentikan reaksi.

Produk samping lain yang tercatat adalah asam format (HCOOH), yang terbentuk melalui oksidasi sebagian formaldehid oleh spesies oksigen aktif, terutama Oα. Meskipun tidak dominan, pembentukan asam format menunjukkan bahwa komposisi umpan dan kondisi permukaan katalis sangat memengaruhi jalur reaksi yang ditempuh. Secara keseluruhan, reaksi-reaksi samping ini sangat bergantung pada keberadaan dan distribusi tiga spesies oksigen aktif pada katalis perak, yaitu Oα (oksigen teradsorpsi di permukaan), Oβ (oksigen larut dalam bulk perak), dan Oγ (oksigen tersegregasi di permukaan dari Oβ). Oleh karena itu, pengendalian suhu, waktu tinggal gas, dan kondisi permukaan katalis menjadi sangat penting dalam menjaga selektivitas proses terhadap formaldehid serta mencegah reaksi samping yang merugikan.

1.4.2. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan menganalisis dan membandingkan nilai entalpi reaksi (ΔH_r) dan energi bebas Gibbs reaksi (ΔG_f). Nilai-nilai ini memberikan gambaran mengenai jumlah energi yang dibutuhkan atau dilepaskan selama berlangsungnya reaksi kimia. Jika ΔH bernilai positif, maka reaksi tersebut bersifat *endotermis,* yang berarti memerlukan penyerapan panas dari lingkungan. Sebaliknya, jika ΔH bernilai negatif, maka reaksi bersifat *eksotermis*,

yaitu menghasilkan panas. Untuk menghitung nilai ΔH_r pada suhu tertentu, digunakan persamaan yang menghubungkan panas reaksi dengan perubahan suhu (Smith, 1950).

Tabel 1. 6 Data entalpi pembentukan standar senyawa

Komponen	**Rumus Kimia**	**ΔH_r (Kj/mol)**	**ΔG_f (Kj/mol)**
Formaldehid	CH_2O	-115,9	-109,91
Metanol	CH_3OH	-201,17	-162,51
Air	H_2O	-241,8	-228,6
Hidrogen	H_2	0	0
Oksigen	O_2	0	0
Karbon Monoksida	CO	-110,54	-137,28

Sumber: Yaws,1999

Berdasarkan data ΔH_r dan ΔG_r tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar (ΔH_r) pembentukan Formaldehid:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O \qquad (1)$$

$\Delta H°$ reaksi = $\Sigma \Delta H_f°$produk - $\Sigma \Delta H_f°$reaktan

$\Delta H°$ reaksi = ($\Delta H_f°CH_2O + \Delta H_f° H_2O$) – ($\Delta H_f°CH_3OH$ + $\Delta H_f°1/2\ O_2$)

$\Delta H°$ reaksi = (-115,9 + (-241,8)) – (201,17+0)

$\Delta H°$ reaksi = -156,53 kJ/mol

Apabila $\Delta H°$ reaksi bernilai positif (+) : Reaksi bersifat endotermis

Apabila $\Delta H°$ reaksi bernilai negatif (-) : Reaksi bersifat eksotermis.

Karena kedua harga $\Delta H°$ bernilai negatif, maka reaksi adisi pembentukan formaldehid tersebut eksotermis atau melepaskan panas.

BAB II. PERANCANGAN PRODUK

2.1. Spesifikasi Produk

Produk yang dihasilkan yaitu formaldehid (CH_2O) dengan kadar 37% yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

2.1.1. Formaldehid

Sifat:

Rumus kimia : CH_2O

Kadar : 37%

Wujud : Cair tidak berwarna

Berat molekul : 30,03 g/mol

Specific gravity of liquid :1,0749

Titik didih : 99°C

Kelarutan dalam air : 0,40/kg

Autoignition : 430°C (1 atm)

Flash point : 50°C (1 atm)

Rapat massa : 1,090 kg/m^3

Viskositas : 2,00 cP (25°C)

Specific heat : 0,80 kal/(g.°C)

Informasi bahaya : dapat menyebabkan kanker, toksik bila tertekan, terkena kulit atau bila terhirup, menyebabkan kulit terbakar, iritasi pada saluran pernafasan.

Management : simpan wadah tertutup di tempat yang kering dan berventilasi yang baik.

Pengendalian atau pelindungan pribadi: Gunakan kacamata pengaman, menggunakan sarung tangan yang sesuai.

2.2. Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1. Methanol

Sifat:

Rumus kimia : CH_3OH

Wujud : Cairan tidak berwarna

Berat molekul : 32,04 g/mol

Specific gravity of liquid :1,11

Titik didih : 64,70°C

Autoignition : 470°C (1 atm)

Flash point : 12°C (1 atm, pada ruangan tertutup)

Rapat massa : 791,5 kg/m^3

Viskositas larutan : 0,54 cP (25°C)

Viskositas gas : 0,01 Cp (25°C)

Specific heat larutan : 2,53 J/(g.°K) (25°C)

Specific heat gas : 1,37 J/(g.°K) (25°C)

Informasi bahaya : Toksik bila tertelan, terkena kulit atau ila terhirup. Menyebabkan kerusakan pada organ (Mata, Sistem saraf pusat).

Management : simpan wadah tertutup di tempat yang kering dan berventilasi yang baik.

Pengendalian atau pelindungan pribadi: Gunakan sarung tangan pelindung/ pakaian pelindung/ pelindung mata/ pelindung wajah.

2.2.2. Oksigen

Sifat:

Rumus kimia : O_2

Wujud : Gas tidak berwarna dan tidak berbau

Berat molekul : 32,0 g/mol

Specific gravity of vapor :1,10

Titik didih : -183°C (1 atm)

Autoignition : data tidak tersedia

Flash point : Tidak mempertahankan pembakaran

Rapat massa : 1,4291 kg/m^3 (0°C)

Viskositas gas : 0,0204 Cp (20°C)

Specific heat gas : 0,918 J/(g.°K) (25°C)

Informasi bahaya : Gas bertekanan tinggi, memperbesar proses pembakaran

Management : Simpan pada area yang berventilasi yang baik dan jauh dari material yang mudah terbakar.

Pengendalian atau pelindungan pribadi: tersedia ventilasi yang memadai, gunakan kacamata safety, jika terjadi kebocoran gunakan alat bantu pernafasan, gunakan sepatu safety saat menangani silinder

2.2.3. Nitrogen

Sifat:

Rumus kimia : N_2

Wujud : Gas tidak berwarna dan tidak berbau

Komposisi : 79% mol udara

Berat molekul : 28,0 g/mol

2.2.4. Air

Sifat:

Rumus kimia : H_2O

Wujud : Cairan tidak berbau dan bening

Berat molekul : 18,0152 g/mol

Specific gravity of liquid :0,62

Titik didih : 100°C

Autoignition : Tidak berlaku (air tidak mudah terbakar)

Flash point : Tidak berlaku (air tidak menyala)

Rapat massa : 1.000 kg/m^3

Viskositas cairan : 0,89 cP (25°C)

Specific heat larutan : 4,18 J/(g.°K) (25°C)

Informasi bahaya : Tidak berbahaya, non-flammable. Namun, dapat menyebabkan kerusakan jika tersimpan pada tekanan tinggi (uap air) atau menyebabkan kebakaran jika kontak dengan peralatan listrik panas atau logam yang mudah terbakar.

Management : Simpan pada tempat yang kering, tidak terlalu lembab untuk menghindari kontaminasi. Untuk uap air, gunakan wadah tahan tekanan jika diperlukan.

Pengendalian atau pelindungan pribadi: Ventilasi memadai jika digunakan dalam bentuk uap, Gunakan kacamata *safety* jika diperlukan pada industri

untuk mencegah percikan, Gunakan sarung tangan saat menangani air panas atau uap, Tidak memerlukan alat bantu pernapasan untuk bentuk cair.

2.3. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan suatu teknik penting yang digunakan oleh perusahaan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan telah memenuhi standar kualitas sebelum didistribusikan kepada konsumen. Teknik ini memungkinkan perusahaan untuk mengevaluasi kelayakan dan mutu produk berdasarkan batas kontrol yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan menerapkan sistem pengendalian kualitas, perusahaan dapat memperoleh berbagai manfaat, antara lain peningkatan kualitas produk secara keseluruhan, optimalisasi hasil produksi, serta peningkatan produktivitas melalui pengurangan jumlah produk cacat. Selain itu, pengendalian kualitas juga berperan dalam menekan biaya produksi yang tidak perlu dan mencegah terjadinya penyimpangan selama proses produksi, sehingga produk tetap sesuai dengan spesifikasi dan standar yang telah ditetapkan. Secara tidak langsung, penerapan pengendalian kualitas yang baik juga berkontribusi terhadap peningkatan profitabilitas perusahaan.

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Bahan baku merupakan komponen utama dalam proses produksi yang akan menjadi bagian tidak terpisahkan dari produk akhir. Dalam suatu industri, keberadaan bahan baku sangat penting karena menjadi dasar dari keseluruhan kegiatan produksi yang menentukan kualitas dan keberhasilan produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas terhadap bahan baku perlu

dilakukan secara menyeluruh untuk memastikan bahwa setiap material yang digunakan telah memenuhi spesifikasi teknis yang telah ditetapkan.

Sebelum proses produksi dimulai, bahan baku harus melalui tahap pengujian kualitas. Bahan sepeti metanol, dan *Iron Molybdenum oxide* sebagai katalis, perlu dievaluasi secara ketat untuk memastikan kesesuaian dengan standar mutu. Pengujian tersebut melibatkan analisis viskositas untuk mengetahui tingkat kekentalan bahan, pengukuran densitas untuk menilai massa jenis, serta analisis komposisi kimia guna memastikan kandungan zat aktif sesuai dengan kebutuhan proses. Selain itu, dilakukan juga pengujian volatilitas untuk mengetahui stabilitas bahan terhadap penguapan serta uji kemurnian guna memastikan tidak adanya kontaminan yang dapat mempengaruhi hasil akhir.

Seluruh rangkaian pengujian ini bertujuan untuk menjamin bahwa bahan baku yang digunakan memiliki kualitas yang layak dan siap untuk diolah secara optimal dalam proses produksi, sehingga dapat menghasilkan produk akhir yang memenuhi standar dan spesifikasi yang diinginkan.

2.3.2. Pengendalian Proses Produksi

Alat ukur dan sistem instrumentasi merupakan bagian vital dalam pengendalian proses produksi di suatu pabrik. Keberadaan sistem ini memungkinkan pengawasan yang efektif terhadap bagian-bagian kritis dalam instalasi produksi yang memerlukan pemantauan secara kontinu. Instrumentasi memiliki tiga fungsi utama, yaitu sebagai perangkat pengukuran, alat analisis, dan alat pengendali. Selain berfungsi untuk memantau kondisi operasi, sistem ini juga berperan dalam pengaturan variabel proses baik secara manual maupun otomatis,

serta memberikan peringatan dini kepada operator apabila terjadi kondisi operasi yang menyimpang atau berpotensi membahayakan.

Agar sistem dapat bekerja secara optimal, perangkat instrumentasi harus tersedia dan beroperasi dengan baik sesuai kebutuhan serta lokasi pemasangannya. Keandalan instrumentasi sangat menentukan konsistensi dan kualitas hasil produksi. Dalam pabrik ini, sistem pengendalian proses mencakup pengaturan terhadap aliran fluida maupun sistem kontrol alat produksi, guna memastikan bahwa seluruh tahapan operasi berlangsung secara stabil, efisien, dan aman

a. Aliran Sistem Kontrol

1. Aliran *Pneumatik* (udara bertekanan) digunakan sebagai media transmisi sinyal dari *controller* menuju aktuator (*actuator*) yang menggerakkan katup (*valve*)
2. Aliran *electric* (aliran listrik) digunakan untuk suhu dari sensor ke *controller*
3. Aliran mekanik (aliran gerakan / perpindahan level) digunakan untuk *flow* dari sensor ke *controller*

b. Alat Sistem Kontrol

1. Sensor, digunakan untuk identifikasi variabel-variabel proses. Alat yang digunakan manometer untuk sensor aliran fluida, tekanan dan level, *thermocouple* untuk sensor suhu.
2. *Controller* meliputi *Level Control* (*LC*), *Temperature Control (TC), Pressure Control (PC), Flow Control (FC).*

a) *Level Control (*LC*)*

Level Control (LC) berfungsi untuk memantau dan mengatur ketinggian cairan di dalam suatu peralatan proses, sehingga tidak melebihi batas maksimum yang telah ditentukan. Secara umum, sistem LC diaplikasikan pada unit proses seperti kolom atau *vessel*. Sistem ini dikoneksikan dengan *control valve* yang terpasang pada jalur aliran keluar dari kolom atau *vessel*, sehingga memungkinkan pengendalian level cairan secara otomatis berdasarkan sinyal yang diterima dari sensor level.

b) *Temperature Control* (TC)

Temperature Control (TC) berfungsi untuk memantau dan mengatur suhu operasi suatu peralatan proses agar tetap berada dalam kisaran suhu yang telah ditetapkan. Sistem ini memastikan bahwa kondisi termal selama operasi berlangsung sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan, sehingga proses dapat berjalan secara optimal dan aman.

c) *Pressure Control* (PC)

Pressure Control (PC) berfungsi untuk memantau dan mengatur tekanan operasi suatu unit proses agar tetap sesuai dengan tekanan yang telah ditetapkan. Sistem ini sangat penting, terutama pada instalasi yang melibatkan aliran uap (*steam*) atau gas, di mana kestabilan tekanan sangat memengaruhi kinerja dan keselamatan proses. *Pressure Control* dihubungkan dengan *control valve* yang terpasang pada jalur keluaran uap atau gas, sehingga memungkinkan pengendalian tekanan secara otomatis berdasarkan sinyal dari sensor tekanan.

d) *Flow Control* (FC)

Flow Control (FC) berfungsi untuk memantau dan mengatur laju alir (debit) suatu fluida yang masuk ke dalam unit proses atau peralatan tertentu. Sistem ini memastikan bahwa aliran bahan yang digunakan dalam proses produksi tetap berada pada tingkat yang sesuai dengan kebutuhan operasi, sehingga efisiensi dan kestabilan proses dapat terjaga.

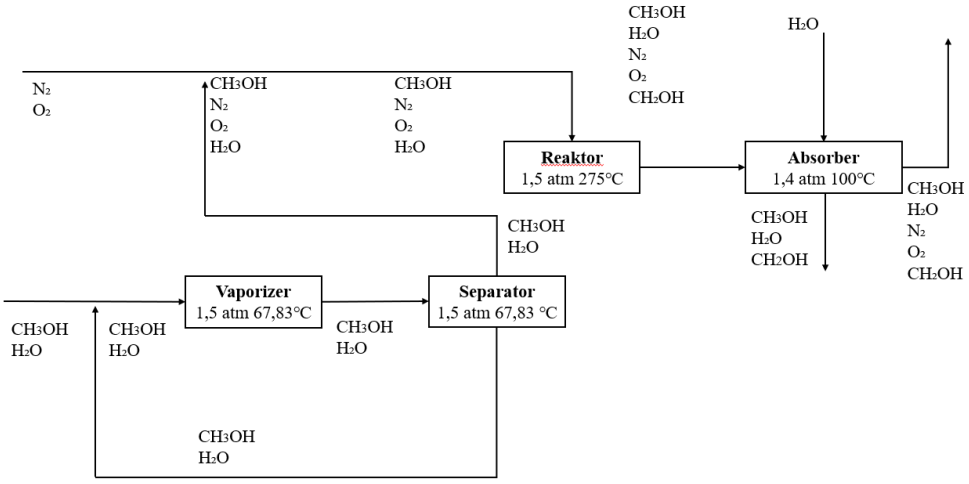
2.3.3. Pengendalian Kualitas Produk

Kualitas Formaldehid yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh setiap tahapan dalam proses produksinya. Untuk mencapai standar mutu yang diinginkan, diperlukan bahan baku dengan kualitas tinggi, seperti metanol, serta *iron molybdenum oxide* yang berfungsi sebagai katalis, disertai dengan pengawasan dan pengendalian proses yang ketat. Pengendalian ini mencakup pemantauan terhadap parameter reaksi, kestabilan suhu, durasi reaksi, serta tingkat kemurnian produk akhir. Dengan penerapan sistem kontrol yang menyeluruh pada seluruh tahapan produksi, amil alkohol yang dihasilkan dapat memiliki kualitas yang tinggi serta sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan pasar.

BAB III. PERANCANGAN PROSES

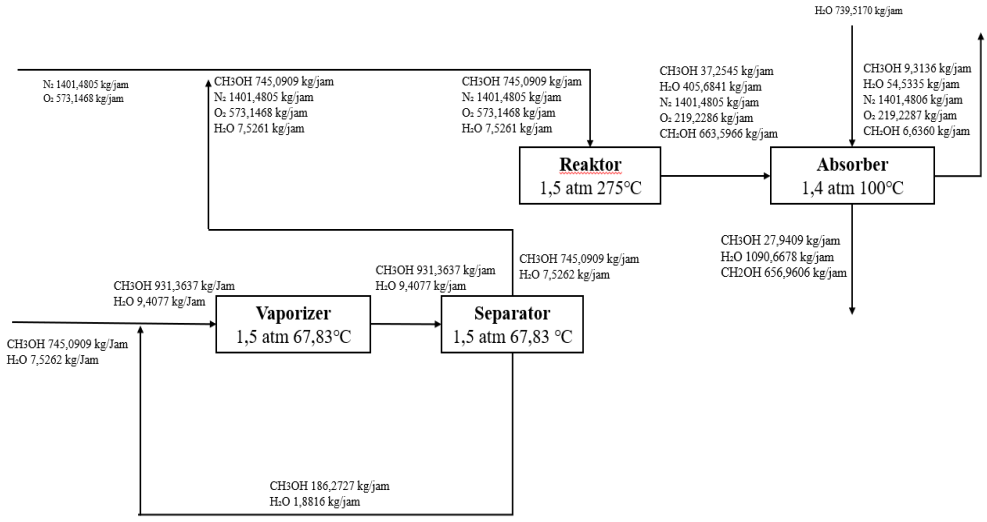
3.1. Diagram Alir Proses dan Material

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

3.2.1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku metanol dengan kemurnian sebesar 99,85% dipompa secara *batch* ke dalam tangki penyimpanan berbentuk silinder dengan atap kerucut, yang dioperasikan pada tekanan atmosfer (1 atm) dan suhu 30°C. Sementara itu, udara sebagai bahan baku pendukung, yang secara komposisi terdiri dari 79% nitrogen dan 21% oksigen, diambil langsung dari lingkungan menggunakan *blower.*

Metanol dari tangki penyimpanan kemudian dialirkan ke dalam *vaporizer* untuk diuapkan hingga mencapai 80% konversi fasa ke uap jenuh. Di dalam unit vaporizer ini, terjadi perubahan fasa metanol dari cair menjadi gas. Sebelum dialirkan ke dalam reaktor *fixed bed multitube,* campuran antara metanol cair dan

uap metanol dipisahkan terlebih dahulu menggunakan drum separator, di mana hanya uap metanol yang selanjutnya dicampur dengan udara.

Campuran uap metanol dan udara ini kemudian dipanaskan secara bertahap menggunakan sistem penukar panas (*heat exchanger*). Tahap awal pemanasan dilakukan dengan pemanas air panas untuk menaikkan suhu dari 67,83°C hingga 150°C. Selanjutnya, pemanasan dilanjutkan hingga mencapai suhu 275°C, yaitu suhu operasi reaksi dalam reaktor, dengan menggunakan *heat exchanger* berbasis *steam*. Sistem pemanasan ini dirancang untuk memastikan campuran reaktan mencapai kondisi termal yang sesuai sebelum masuk ke dalam reaktor.

3.2.2. Tahap Pembentukan Produk Formaldehid dari Metanol

Di dalam reaktor *multitube fixed bed*, campuran antara metanol dan udara mengalami reaksi pada kondisi operasi suhu 275°C dan tekanan 1,5 atm, menggunakan metode katalis logam oksida (*Mixed Oxide Catalyst*) yang dikenal sebagai proses *Haldor Topsoe*. Metode ini memanfaatkan katalis berbasis *molybdenum oxide* (MoO_3) dan *iron oxide* (Fe_2O_3) dengan umur katalis berkisar antara 12 hingga 15 bulan, serta rasio komposisi *molybdenum oxide* terhadap *iron oxide* sebesar 1,5:3.

Reaksi yang berlangsung dalam reaktor bersifat eksotermis, di mana panas dilepaskan selama proses berlangsung. Salah satu contoh reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O \qquad (1)$$

ΔH_r = -156,53 kj/mol

Penggunaan media pendingin menjadi sangat penting dalam sistem reaktor untuk menyerap panas yang dihasilkan selama reaksi berlangsung. Hal ini disebabkan oleh sifat reaksi yang eksotermis, di mana kenaikan suhu yang berlebihan harus dihindari agar tidak mengganggu kestabilan reaksi dan menurunkan efisiensi proses. Berdasarkan prinsip kesetimbangan reaksi kimia, penambahan sistem pendingin diperlukan untuk menjaga suhu tetap dalam rentang optimal. Dalam hal ini, pendinginan dilakukan dengan sirkulasi fluida *Thermal Fluid* melalui bagian *shell* reaktor *multitube*, yang berfungsi menyerap panas dari reaksi.

Pada kondisi operasi yang dirancang, proses ini mampu menghasilkan konversi metanol sebesar 98,4%, *yield* formaldehid sebesar 94,4%, dan selektivitas produk sebesar 91%. Produk gas hasil reaksi kemudian dialirkan menuju pendingin (*cooler*) untuk menurunkan suhunya hingga 100°C pada tekanan 1,4 atm, sebelum masuk ke dalam kolom absorber untuk tahap pemisahan dan pemurnian lebih lanjut.

3.2.3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian

Pada tahap pemurnian, pelarut berupa air dingin disemprotkan dari bagian atas kolom absorber untuk memisahkan formaldehid dari campuran gas hasil reaksi. Air pelarut dimasukkan pada suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Proses pemisahan ini memanfaatkan sifat kelarutan, di mana formaldehid dan metanol bersifat larut dalam air, sedangkan gas-gas lain seperti oksigen, nitrogen, karbon dioksida, dan argon tidak larut, sehingga tidak ikut terserap oleh pelarut.

Agar proses penyerapan lebih efektif, suhu pada bagian atas absorber dijaga tetap rendah untuk meminimalkan kelarutan gas-gas non-polar yang tidak

diinginkan dalam produk akhir. Gas yang tidak terserap, seperti oksigen dan nitrogen, akan dikeluarkan melalui bagian atas absorber sebagai off gas.

Dalam penentuan komposisi absorber pada proses pemurnian formaldehid, diasumsikan bahwa efisiensi penyerapan dari masing-masing komponen utama telah diketahui terlebih dahulu. Formaldehid (CH_2O) diasumsikan terserap sebesar 99%, sementara metanol (CH_3OH) yang merupakan komponen pengotor utama terserap sebesar 75%. Untuk menentukan jumlah air yang diperlukan dalam campuran absorber, digunakan pendekatan berdasarkan kemurnian formaldehid dalam larutan akhir. Dalam hal ini, diketahui bahwa purity formaldehid dalam larutan adalah 37% atau 0,37 dalam bentuk fraksi massa. Dengan menggunakan rumus fraksi massa formaldehid, yaitu:

$$\frac{m_{CH2O}}{m_{CH2O} + m_{CH3OH} + m_{H2O}} = 0{,}37$$

Massa air (m_{h2o}) dapat dihitung setelah diketahui massa formaldehid dan metanol yang terserap. Dengan demikian, komposisi absorber diperoleh dengan cara mengasumsikan efisiensi penyerapan masing-masing komponen, kemudian menyesuaikan rasio massa air agar menghasilkan larutan dengan kemurnian formaldehid sebesar 37%. Pendekatan ini penting untuk merancang sistem pemisahan dan pemurnian yang efisien dalam skala industri.

Sementara itu, bagian bawah kolom absorber akan menghasilkan produk formaldehid dalam bentuk larutan dengan konsentrasi sekitar 37%. Setelah melewati tahap pendinginan hingga suhu 30 °C, larutan formaldehid tersebut kemudian dipompa ke dalam tangki penyimpanan produk akhir, untuk selanjutnya didistribusikan atau digunakan dalam proses lanjutan.

3.3. Spesifikasi Alat

3.3.1. Spesifikasi Alat Proses

a. Reaktor 01

1) Spesifikasi Umum

Kode	: R-01
Fungsi	: Mereaksikan metanol dengan oksigen menjadi Formaldehid
Jenis/Tipe	: *Fixed Bed Multitube Reactor*
Mode Operasi	: Kontinyu
Jumlah	: 1
Harga, Rp	: Rp. 892.614.885

2) Kondisi Operasi

Suhu, C	: 275
Tekanan, atm	: 1,5
Kondisi Proses	: *Non-adiabatis. Non-isothermal*

3) Kontruksi dan Material

Bahan Kontruksi	: *Stainless Steel SA 167 Grade 3 Type 304*
Diameter (ID) *Shell*, in	: 0,75
Tebal *Shell*, in	: 0,1875
Tinggi Total, m	: 6,4
Jenis *Head*	: *Torispherical Head*

4) Spesifikasi Khusus

	Jenis Katalis	: *Iron Molybdenum*
	Bentuk Katalis, mm	: Pellet
	Ukuran Katalis, mm	: 4,55
	Dimensi Tube	
	Bahan Kontruksi	: *Stainless Steel SA 167 Grade 3 Type 304*
	Diameter, in	:1,05
	Panjang, m	: 6,4
	Jumlah Tube	: 109
	Tipe	: *Triangular Pitch*
	Ukuran *Pitch*, in	: 1,31
	Jenis *coolant*	: H_2O
	Kebutuhan *Coolant*	: 5000 kg/jam

b. Separator 01

	Nama dan kode	: SP-01
	Fungsi	: Memisahkan fase uap dan fase cair yang keluar dari VP-01 sebelum masuk R-01
	Jenis	: Silinder Vertical dengan *Torispherical Head*
	Material	: *Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*
	Kondisi Operasi	:
	a) Suhu	: 67,83 °C
	b) Tekanan	:1,5 atm
	Spesifikasi *Shell*	:

a) Tinggi : 69,01 in (m)

b) Tebal : 3/8 inch

c) Diameter luar : 16 in

Head

a) Tinggi : 5,6 inch

b) Tebal : 7/16 inch

Jumlah : 1

Harga : Rp. 136.017.506

c. Absorber 01

Nama dan kode : ABS-01

Fungsi : Menyerap CH_2O dan CH_3OH dengan *solvent* air

Jenis : Packed Column

Material : *Stainless Steel SA 167 Grade 3 type 304*

Kondisi Operasi

a) Tekanan Operasi : 1,4 atm

b) Tekanan Desain : 1,68 atm

c) Suhu Operasi : 50°C

Dimensi Tangki

a) Tipe : Tangki Silinder

b) Volume Tangki : 1,65 m^3

c) Diameter Tangki : 1,11 m

d) Tebal Shell : 0,44 in

Dimensi Head dan Bottom

a) Tipe : Torispherical dished head

b) Tinggi : 0,27 m

c) Tebal : 0,01 m

Packing

a) Jenis : *Ceramic*

b) Tipe : *Raschig ring*

c) Diameter bahan isian: 0,03 m

d) Tinggi bahan isian : 3,12 m

e) HETP : 0,35 m

Harga : Rp. 2.571.580.979

3.3.2. Spesifikasi Alat Penyimpanan

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

Tangki	**T-01**	**T-02**
Fungsi	Menyimpan bahan baku Methanol	Menyimpan produk Formaldehid
Lama Penyimpanan	7 hari	14 hari
Fasa	cair	cair
Jumlah Tangki	1	1
Jenis Tangki	silinder tegak (vertikal)	silinder tegak (vertikal)
Kondisi Operasi	Suhu : 30 ℃ Tekanan : 1 atm	Suhu : 30 ℃ Tekanan : 1 atm
Spesifikasi	Bahan Konstruksi: *Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304* Volume tangki : 193,23 m^3 Diameter : 12,19 m Tinggi : 5,48 m Jumlah *course* : 4 Tebal *shell*: 3/16 in	Bahan Konstruksi: *Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304* Volume tangki : 787,15 m^3 Diameter : 15,24 m Tinggi : 5,48 m Jumlah *course* : 6 Tebal *shell* : 3/16 in
Head & Bottom	Jenis *Head: torispherical* Tebal *head*: 3/16 in	Jenis *Head* : *torispherical* Tebal *head* : 3/16 in

Tangki	T-01	T-02
	Jenis *Bottom*: *flat bottomed* Tebal *bottom* : 3/16 in	Jenis *Bottom* : *flat bottomed* Tebal *bottom* : 3/16 in
Harga (Rupiah)	918.779.490	2.576.613.780

3.3.3. Spesifikasi Alat Transportasi

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

Parameter	P-01	P-02	P-03	P-04
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump with expansion valve*
Fungsi	Mengalirkan methanol dan air dari Tangki Penyimpanan (T-01) menuju *Heater* (HE-01)	Mengalirkan fluida keluaran absorber (ABS-01) menuju *Cooler* (CL-02)	Mengalirkan air dari Utilitas menuju Absorber (ABS-01)	Mengalirkan fluida keluaran *Cooler* (CL-02) menuju Tangki penyimpanan (T-02)
Viskositas	0,5081 MPa·s	0,5477 MPa·s	0,8072 MPa·s	0,8072 MPa·s
Kapasitas	1,15 m^3/jam	1,34 m^3/jam	0,81m^3/jam	1,32 m^3/jam
Total head	7,6 m	5,18 m	1,03 m	5,1 m
Suhu Fluid	30 °C	50 °C	30 °C	30 °C
Instalasi	*Horizontal*	*Horizontal*	*Horizontal*	*Horizontal*
Submersibilty	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*
Jenis Pompa	*Dynamic Pump*	*Dynamic Pump*	*Dynamic Pump*	*Dynamic Pump*
Densitas	785,07 kg/m^3	998,27kg/m^3	1022,87 kg/m^3	1016,87 kg/m^3
Tekanan	1,5 atm	1,4 atm	1 atm	1,5 atm
Motor Power	1/8 BHP	1/12 BHP	1/12 BHP	1/8 BHP
Material Construction	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*

Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Gas

Parameter	BL-01	BL-02	BL-03	BL-04
Jenis	Blower	Blower	Blower	Blower

Parameter	BL-01	BL-02	BL-03	BL-04
Fungsi	Mengalir udara dari Separator (SP-01) menuju ke *Heater* (HE-02)	Mengalirkan udara menuju ke *Heater* (HE-01)	Mengalir udara dari *Heater* (HE-01) menuju ke *Heater* (HE-02)	Mengalirkan udara dari *Heater* (HE-02) menuju ke Reaktor (R-01)
suction and Discharge pressure	1,5 atm	1 atm dan 1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm
Suction Temperature	67,83 °C	30 °C	67,83 °C	275 °C
Kapasitas	0.00044 m^3/jam	0.0016m^3/jam	0.0012m^3/jam	0.0027m^3/jam
Compression ratio	1	1,63	1	1
Stage	*Single stage*	*Single stage*	*Single stage*	*Single stage*
Jenis Compressor	*Sentrifugal*	*Sentrifugal*	*Sentrifugal*	*Sentrifugal*
RPM	2.880 RPM	2.880 RPM	2.880 RPM	2.880 RPM
Motor Power	1/12 BHP	1/8 BHP	1/12 BHP	1/4 BHP
Material Construction	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*

Tabel 3. 4 Lanjutan Spesfikasi Alat Transportasi Bahan Gas

Parameter	BL-05	BL-06	BL-07
Jenis	Blower	Blower	Blower
Fungsi	Mengalirkan udara dari Reaktor (R-01) menuju ke *cooler* (C-01)	Mengalirkan udara dari *cooler* (C-01) menuju ke Absorber (AB-01)	Mengalirkan udara dari Absorber (AB-01) menuju ke Unit utilitas
suction and Discharge pressure	1,5 atm	1,4 atm	1,5 atm
Suction Temperature	275°C	50°C	50°C

Kapasitas	0.003 m³/jam	0.0019m³/jam	0.0011m³/jam
Compression ratio	1	1	1
Stage	*Single stage*	*Single stage*	*Single stage*
Jenis *Compressor*	*Sentrifugal*	*Sentrifugal*	*Sentrifugal*
RPM	2.880 RPM	2.880 RPM	2.880 RPM
Motor Power	1/4 BHP	1/8 BHP	1/8 BHP
Material Construction	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*

3.3.4. Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. *Vaporizer*

Tabel 3. 5 Spesifikasi Vaporizer

Jenis	*Shell and Tube*			
Kode	VP-01			
Fungsi	Menguapkan 80% Methanol dan Air dari tangki penyimpanan			
Operation Condition				
Position	*Shell*		*Tube*	
Fluid	Air dan Metanol		*steam*	
Fluid type	*Cold*		*Hot*	
	In	*Out*	*In*	*Out*
***Liquid* flowrate**	940,77 kg/jam	188,15 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam
Vapor flowrate	0 kg/jam	752,61 kg/jam	404,06 kg/jam	404,06 kg/jam
Temperature	30°C	67,83°C	100°C	100°C
Pressure	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm
Mechanical Design				
A	14,89 m²			
BWG	14			
Pitch	15/16 in *Triangular Pitch*			

Ud		0,61 kJ/m²·s·K	
Uc		4,27 kJ/m²·s·K	
Shell		*Tube*	
Length	12 ft	*Length*	12 ft
Passes	1	*Passes*	2
ID	10 in	OD	0,75 in
Baffle Spaces	14	*Number*	68
ΔPcal / ΔPallow	0.068 Psi / 10 psi	ΔPcal / ΔPallow	0.026 Psi / 10 psi
Rdcal / Rdmin		0,00334 / 0,001 BTU/hr·ft²·°F	

b. *Heater* 1

Tabel 3. 6 Spesifikasi Heat Exchanger (HE-01)

Jenis		*Double Pipe*		
Kode		HE-01		
Fungsi	Memanaskan udara yang berasal dari Blower (Bl-01) dari suhu			
Operation Condition				
Position	*Annulus*		*Inner Pipe*	
Fluid	Udara		*steam*	
Fluid type	*Cold*		*Hot*	
	In	*Out*	*In*	*Out*
Liquid flowrate	0 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam
Vapor flowrate	1.974,63 kg/jam	1.974,63 kg/jam	26,59 kg/jam	26,59 kg/jam
Temperature	30°C	67,83°C	100°C	100°C
Pressure	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm
Mechanical Design				
A		5,2 m²		
Ud		0,0797 kJ/m²·s·K		
Uc		0,0441 kJ/m²·s·K		
Annulus		*Inner Pipe*		
Length	12 ft	*Length*		12 ft
Hairpin	6	*Hairpin*		6

ID	2,067 in	OD	1,66 in
ΔPcal / ΔPallow	0.0022 Psi / 10 psi	ΔPcal / ΔPallow	0.105 Psi / 10 psi
Rdcal / Rdmin	0,057 / 0,001 BTU/hr·ft²·°F		

c. *Heater* 2

Tabel 3. 7 Spesifikasi Heat Exchanger (HE-02)

Jenis	*Shell and Tube*			
Kode	HE-02			
Fungsi	Memanaskan gas yang berasal dari HE-01 dan SP-01			
Operation Condition				
Position	*Shell*		*Tube*	
Fluid	Air, Metanol, Oksigen, dan Nitrogen		*steam*	
Fluid type	*Cold*		*Hot*	
	In	*Out*	*In*	*Out*
Liquid flowrate	0 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam
Vapor flowrate	2727,24 kg/jam	2727,24 kg/jam	230,26 kg/jam	230,26 kg/jam
Temperature	67,83°C	275°C	280°C	280°C
Pressure	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm
Mechanical Design				
A	38,5 m²			
BWG	14			
Pitch	15/16 in *Triangular Pitch*			
Ud	0,05 kJ/m²·s·K			
Uc	0,54 kJ/m²·s·K			
Shell	*Tube*			
Length	12 ft	*Length*	12 ft	
Passes	1	*Passes*	2	
ID	16 in	OD	0,75 in	
Baffle Spaces	9	*Number*	176	
ΔPcal / ΔPallow	0.29 Psi / 10 psi	ΔPcal / ΔPallow	0.12 Psi / 10 psi	

Rdcal / Rdmin	0,0099 / 0,001 BTU/hr·ft²·°F

d. *Cooler* 1

Tabel 3. 8 Spesifikaasi Cooler (CL-01)

Jenis	*Shell and Tube*			
Kode	CL-01			
Fungsi	Mendinginkan gas keluaran R-01 sebelum masuk ke ABS-01			
Operation Condition				
Position	*Shell*		*Tube*	
Fluid	Air, Metanol, Oksigen, Nitrogen, dan Formaldehid		*steam*	
Fluid type	*Hot*		*Cold*	
	In	*Out*	*In*	*Out*
Liquid flowrate	0 kg/jam	0 kg/jam	376,79 kg/jam	376,79 kg/jam
Vapor flowrate	2.727,25 kg/jam	2.727,25 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam
Temperature	275°C	50°C	25°C	55°C
Pressure	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm
Mechanical Design				
A	38,5 m²			
BWG	14			
Pitch	15/16 in *Triangular Pitch*			
Ud	0,03 kJ/m²·s·K			
Uc	0,19 kJ/m²·s·K			
Shell	*Tube*			
Length	12 ft	*Length*	12 ft	
Passes	1	*Passes*	2	
ID	16 in	OD	0,75 in	
Baffle Spaces	9	*Number*	176	
ΔPcal / ΔPallow	8,29 Psi / 10 psi	ΔPcal / ΔPallow	0 Psi / 10 psi	
Rdcal / Rdmin	0,0163 / 0,001 BTU/hr·ft²·°F			

e. *Cooler* 2

Tabel 3. 9 Spesifikasi Cooler (CL-02)

Jenis	*Double Pipe*			
Kode	CL-02			
Fungsi	Mendinginkan cairan keluaran ABS-01 sebelum masuk ke T-02			
Operation Condition				
Position	*Annulus*		*Inner Pipe*	
Fluid	Air, Methanol, Oksigen, Nitrogen, Formaldehid		Air Pendingin	
Fluid type	*Hot*		*Cold*	
	In	*Out*	*In*	*Out*
Liquid flowrate	1.775,57 kg/jam	1.775,57 kg/jam	336,22 kg/jam	336,22 kg/jam
Vapor flowrate	0 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam	0 kg/jam
Temperature	50°C	30°C	30°C	30°C
Pressure	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm	1,5 atm
Mechanical Design				
A	11,92 m²			
Ud	0,29 kJ/m²·s·K			
Uc	0,23 kJ/m²·s·K			
Annulus		*Inner Pipe*		
Length	20 ft	*Length*	20 ft	
Hairpin	7	*Hairpin*	7	
ID	3,07 in	OD	2,38 in	
ΔPcal / ΔPallow	0.0068 Psi / 10 psi	ΔPcal / ΔPallow	0.022 Psi / 10 psi	
Rdcal / Rdmin	0,0019 / 0,001 BTU/hr·ft²·°F			

3.4. Neraca Massa

3.4.1. Neraca Massa Total

Tabel 3. 10 Neraca Massa Total

Komponen	**BM**	**INPUT**	**OUTPUT**

		Arus 2	Arus 6	Arus 10	Arus 11	Arus 12
CH_3OH	32	745,09	0	0	27,94	9,31
O_2	32	0	573,15	0	0,0000	219,23
N_2	28	0	1.401,48	0	0,0000	1401,48
H2O	18	7,53	0	739,52	1090,67	54,53
CH_3OH	30	0	0	0	656,96	6,64
Subtotal		752,62	1.974,63	739,52	1775,57	1691,19
Total			3466,76		3466,76	

3.4.2. Neraca Massa Alat

a. Neraca Massa *Vaporizer*

Tabel 3. 11 Neraca Massa Vaporizer

Komponen	BM	INPUT (kg/jam)		OUTPUT (kg/jam)
		Arus 2	Arus 5	Arus 3
CH_3OH	32	745,09	186,27	931,36
O_2	32	0	0	0
N_2	28	0	0	0
H_2O	18	7,53	1,88	9,41
CH_3OH	30	0	0	0
Subtotal		752,62	188,15	940,77
Total		940,77		940,77

b. Neraca Massa Separator

Tabel 3. 12 Neraca Massa Separator

Komponen	BM	INPUT (kg/jam)	OUTPUT (kg/jam)	
		Arus 3	Arus 4	Arus 5
CH_3OH	32	931,36	745,09	186,27
O_2	32	0	0	0

N_2	28	0	0	0
H_2O	18	9,41	7,53	1,88
CH_3OH	30	0	0	0
Subtotal		940,77	752,62	188,15
Total		940,77	940,77	

c. Neraca Massa Reaktor

Tabel 3. 13 Neraca Massa Reaktor

Komponen	BM	INPUT (kg/jam)	OUTPUT (kg/jam)
		Arus 8	Arus 9
CH_3OH	32	745,09	37,25
O_2	32	573,15	219,23
N_2	28	1401,48	1401,48
H_2O	18	7,53	405,68
CH_3OH	30	0	663,59
Subtotal		2727,24	2727,24
Total		2727,24	2727,24

d. Neraca Massa Absorber

Tabel 3. 14 Neraca Massa Absorber

Komponen	BM	INPUT (kg/jam)		OUTPUT (kg/jam)	
		Arus 9	Arus 10	Arus 11	Arus 12
CH_3OH	32	37,25	0	27,94	9,31
O_2	32	219,23	0	0	219,23
N_2	28	1401,48	0	0	1401,48
H_2O	18	405,68	739,52	1090,67	54,53
CH_3OH	30	663,5966	0	656,96	6,64
Subtotal		2727,24	739,52	1775,57	1691,19
Total		3466,76		3466,76	

3.5. Neraca Panas

3.5.1. Neraca Panas *Vaporizer*

Tabel 3. 15 Neraca Panas Vaporizer

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 2	Arus 3
CH_3OH	32	29.600,83	1.454.366,19
O_2	32	0	0
N_2	28	0	0
H_2O	18	4.485,91	3.261,58
CH_2OH	30	0	0
Steam	18	1.471.934,98	0
Total		1.506.021,72	1.506.021,72

3.5.2. Neraca Panas Separator

Tabel 3. 16 Neraca Panas Separator

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 3	Arus 5
CH_3OH	32	69.089,99	69.089,99
O_2	32	0	0
N_2	28	0	0
H_2O	18	4.714,05	4.714,05
CH_2OH	30	0	0
Total		73.804,04	73.804,04

3.5.3. Neraca Panas Reaktor

Tabel 3. 17 Neraca Panas Reaktor

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 9	Arus 11
CH_3OH	32	-1.017.462,82	15.611,01
O_2	32	-518.436,01	40.210,87
N_2	28	168,93	368.485,61
H_2O	18	64,72	195.307,71
CH_2OH	30	0	224.450,49
Q Reaksi	-	3.357.070,18	0
Q Pendingin	-	0	977.339,30
Total		1.821.404,99	1.821.404,99

3.5.4. Neraca Panas Absorber

Tabel 3. 18 Neraca Panas Absorber

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 9	Arus 11
CH_3OH	32	1.335,53	415,82
O_2	32	4.430,61	891,99
N_2	28	36.398,83	7.276,08
H_2O	18	96.353,40	23.382,65
CH_2OH	30	20.048,43	39,75
Q diambil	18	0	126.560,50
Total		158.566,80	158.566,80

3.5.5. Neraca Panas Heater 1

Tabel 3. 19 Neraca Panas Heater 1

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 8	Arus 9
CH_3OH	32	0	0
O_2	32	17615,44	22.179,40
N_2	28	55057,42	62.484,17
H_2O	18	0	0
CH_2OH	30	0	0
Steam	18	11.990,71	0
Total		84.663,57	84.663,57

3.5.6. Neraca Panas *Heater* 2

Tabel 3. 20 Neraca Panas Heater 2

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 9	Arus 11
CH_3OH	32	230.216,02	11.945.965,85
O_2	32	93.963,47	2.914.027,39
N_2	28	302.157,52	10.642.409,50
H_2O	18	2.934,99	68.661,72
CH_2OH	30	0	0
Steam	18	24.941.792,45	0
Total		25.571.064,47	25.571.064,47

3.5.7. Neraca Panas *Cooler* 1

Tabel 3. 21 Neraca Panas Cooler 1

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 9	Arus 11
CH_3OH	32	14.185,25	8.719,65
O_2	32	35.884,44	29.352,55
N_2	28	330.707,86	209.867,28
H_2O	18	175.461,18	70.333,00
CH_2OH	30	203.127,64	123.098,86
Pendingin	18	-317.995,03	0
Total		441.371,34	441.371,34

3.5.8. Neraca Panas *Cooler* 2

Tabel 3. 22 Neraca Panas Cooler 2

Komponen	BM	INPUT (kJ/jam)	OUTPUT (kJ/jam)
		Arus 9	Arus 11
CH_3OH	32	802,62	11,56
O_2	32	0	0
N_2	28	0	0
H_2O	18	110489,26	423,76
CH_2OH	30	66552,89	0
Pendingin	18	-177.409,45	0
Total		435,33	435,33

BAB IV. PERANCANGAN PABRIK

4.1. Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan aspek yang sangat penting karena memiliki dampak langsung terhadap efisiensi operasional dan kelayakan ekonomis suatu industri. Dalam pemilihan lokasi, terdapat sejumlah faktor strategis yang perlu dipertimbangkan, antara lain ketersediaan bahan baku, kemudahan akses ke pasar produk, fasilitas transportasi, kondisi lingkungan sekitar, ketersediaan utilitas seperti air, listrik, dan bahan bakar, serta berbagai faktor pendukung lainnya yang dapat menunjang kelancaran kegiatan produksi dan distribusi. Pemilihan lokasi yang tepat akan mendukung keberlangsungan dan daya saing pabrik dalam jangka panjang.

a. Ketersediaan Bahan Baku

Pabrik yang ideal adalah pabrik yang dibangun sedekat mungkin dengan sumber bahan baku, guna mengurangi biaya transportasi, terutama bila menggunakan moda transportasi darat. Selain itu, lokasi yang berdekatan dengan pelabuhan memberikan keuntungan tersendiri karena dapat mempermudah proses ekspor produk maupun impor bahan baku melalui jalur laut. Secara umum, penentuan lokasi pabrik diawali dengan mempertimbangkan ketersediaan dan jarak bahan baku, karena semakin dekat lokasinya, semakin rendah pula biaya logistik dan penanganan material. Kedekatan ini tidak hanya berpengaruh terhadap efisiensi biaya, tetapi juga mendukung pemeliharaan mutu bahan baku serta menjamin kelancaran pasokan secara kontinu selama proses produksi berlangsung.

b. Keterjangkauan Pemasaran Produk

Pendirian pabrik sebaiknya dilakukan di lokasi yang berdekatan dengan industri pengguna formaldehid, baik sebagai bahan baku utama maupun bahan tambahan, dengan tujuan untuk menekan biaya distribusi, khususnya dalam hal pengangkutan melalui jalur darat. Kedekatan ini juga dapat mempercepat proses pengiriman, menjaga kualitas produk, serta meningkatkan efisiensi logistik secara keseluruhan.

c. Keterjangkauan Energi dan Sumber Daya

Air merupakan salah satu utilitas utama yang sangat penting dalam menunjang kelancaran proses produksi formaldehid. Oleh karena itu, lokasi pabrik sebaiknya dipilih sedekat mungkin dengan sumber air seperti sungai, danau, atau laut, guna memastikan ketersediaan air yang memadai dan berkelanjutan. Di samping itu, ketersediaan energi juga merupakan aspek krusial yang harus diperhatikan, karena menjadi penunjang utama dalam menjaga kelangsungan operasional seluruh unit proses dalam pabrik formaldehid. Kombinasi antara ketersediaan air dan energi yang memadai akan sangat memengaruhi efisiensi dan stabilitas produksi.

d. Ketersediaan Tenaga Kerja

Tenaga kerja memegang peranan penting sebagai pelaksana utama dalam setiap tahapan proses produksi. Ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten, terampil, dan memiliki latar belakang pendidikan yang sesuai akan sangat menunjang kelancaran, efektivitas, dan efisiensi operasional pabrik. Oleh karena itu, pemilihan lokasi pabrik juga perlu mempertimbangkan akses

terhadap tenaga kerja berkualitas guna mendukung produktivitas dan keberlangsungan proses produksi secara optimal.

e. Kondisi Geografis dan Sosial

1. Bencana Alam

Pabrik sebaiknya didirikan di wilayah yang memiliki tingkat risiko rendah terhadap bencana alam, seperti banjir, gempa bumi, angin puting beliung, sambaran petir, dan sebagainya. Pemilihan lokasi yang aman secara geologis dan klimatologis bertujuan untuk menjamin kontinuitas operasional, menurunkan potensi kerusakan aset, serta menjaga keselamatan tenaga kerja dan lingkungan sekitar.

2. Regulasi Pemerintah

Pemilihan lokasi pabrik sebaiknya diarahkan pada wilayah yang memiliki kemudahan akses terhadap regulasi dan perizinan pendirian pabrik. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses administrasi, meminimalkan hambatan birokrasi, serta memastikan bahwa operasional pabrik dapat berjalan sesuai dengan ketentuan hukum dan peraturan yang berlaku di daerah tersebut.

3. Sosial Masyarakat

Kondisi sosial masyarakat sekitar diharapkan dapat memberikan dukungan positif terhadap keberadaan dan operasional pabrik. Oleh karena itu, pemilihan lokasi sebaiknya dilakukan di wilayah yang masyarakatnya bersikap terbuka dan menerima aktivitas industri, guna menciptakan

hubungan harmonis antara perusahaan dan komunitas lokal serta menghindari potensi konflik sosial di kemudian hari.



Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik

Berdasarkan berbagai pertimbangan yang telah diuraikan sebelumnya, kota Bontang dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik formaldehid dalam tahap perencanaan ini. Pemilihan ini didasarkan pada sejumlah faktor strategis, antara lain:

1. Lokasi Bontang berdekatan dengan sumber bahan baku, yaitu metanol yang dipasok oleh PT Kaltim Methanol Industri, sehingga meminimalkan biaya transportasi bahan baku dan memastikan kontinuitas pasokan.
2. Bontang juga memiliki akses langsung ke pelabuhan, yang sangat mendukung proses impor peralatan dan bahan pendukung serta ekspor produk akhir, baik melalui jalur laut domestik maupun internasional.
3. Selain itu, kota ini berlokasi dekat dengan laut, sehingga ketersediaan air untuk keperluan pendinginan dan kebutuhan proses industri dapat dipenuhi dengan lebih mudah dan efisien. Pasokan energi listrik juga relatif stabil karena didukung oleh keberadaan PLTU Bontang.

4. Dari segi sarana dan prasarana, Bontang memiliki fasilitas transportasi yang baik, termasuk pelabuhan dan jaringan jalan yang memadai untuk mendukung distribusi bahan baku maupun produk ke berbagai wilayah.
5. Ketersediaan tenaga kerja lokal, baik tenaga terampil maupun tenaga non-terampil, juga menjadi salah satu keunggulan wilayah ini, karena dapat mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja dari luar daerah.
6. Sebagai kawasan industri yang telah berkembang, Bontang memiliki regulasi yang mendukung pendirian pabrik, serta sistem pengelolaan limbah industri yang sudah terintegrasi, sehingga potensi dampak lingkungan dapat dikendalikan secara efektif sesuai dengan peraturan yang berlaku.
7. Dengan berbagai keunggulan tersebut, Bontang dinilai sebagai lokasi yang tepat dan strategis untuk mendirikan pabrik formaldehid dalam perencanaan ini.

4.2. Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik (*plant layout*) merupakan pengaturan elemen-elemen fisik di dalam area produksi, yang mencakup peralatan, tenaga kerja, bangunan, serta sarana pendukung lainnya, dengan tujuan untuk mengoptimalkan alur kerja, pergerakan material dan informasi, serta interaksi antar unit operasi, demi mencapai efisiensi dan efektivitas dalam pencapaian tujuan operasional pabrik.

Dalam merancang kebutuhan lahan untuk pabrik formaldehid dari metanol dengan kapasitas produksi sebesar 15.000 ton per tahun, dilakukan pendekatan komparatif terhadap pabrik sejenis, yaitu PT Borneo Karya Persada yang memiliki

kapasitas 35.000 ton per tahun dengan luas area terintegrasi sekitar 4,79 hektar (47.855,52 m^2).

Berdasarkan perbandingan tersebut dan dilakukan proporsionalisasi terhadap kapasitas produksi yang direncanakan, maka perkiraan total luas lahan yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik formaldehid ini adalah sekitar 1,93 hektar (19.297,18 m^2). Luas tersebut dianggap mencukupi untuk menampung seluruh unit proses, fasilitas utilitas, area penyimpanan, serta sarana pendukung lainnya sesuai dengan standar industri kimia.

Tata letak pabrik umumnya dibagi ke dalam beberapa area utama, yaitu:

1. Area Administrasi, Laboratorium, dan Fasilitas Pendukung

   Area administrasi berperan sebagai pusat pengelolaan dan manajemen operasional pabrik. Laboratorium digunakan untuk melakukan kontrol kualitas terhadap bahan baku maupun produk akhir, serta berfungsi sebagai tempat pelaksanaan riset dan pengembangan. Sementara itu, fasilitas pendukung mencakup kantin, tempat ibadah, klinik, ruang hijau, dan sarana penunjang lainnya.

2. Area Proses dan Ruang Kontrol

   Area ini menjadi tempat utama berlangsungnya aktivitas produksi, dimana peralatan, mesin-mesin produksi, bahan aku, serta produk berada. Ruang kontrol digunakan untuk mengatur dan memantau seluruh jalannya proses produksi secara terpusat.

3. Area Penyimpanan, Bengkel, dan Garasi

Bagian penyimpanan berfungsi untuk menampung bahan baku, bahan pendukung, hasil produksi, dan peralatan lain yang berkaitan dengan produksi. Bengkel disediakan untuk melakukan perbaikan jika terdapat kerusakan peralatan, sedangkan garasi menjadi tempat penyimpanan kendaraan operasional pabrik.

4. Area Utilitas dan *Power Station*

Area ini berfungsi menyediakan seluruh kebutuhan pendukung operasional pabrik seperti suplai listrik, air, steam, bahan bakar, serta peralatan darurat, termasuk sistem pemadam kebakaran.

5. Area Pengolahan Limbah

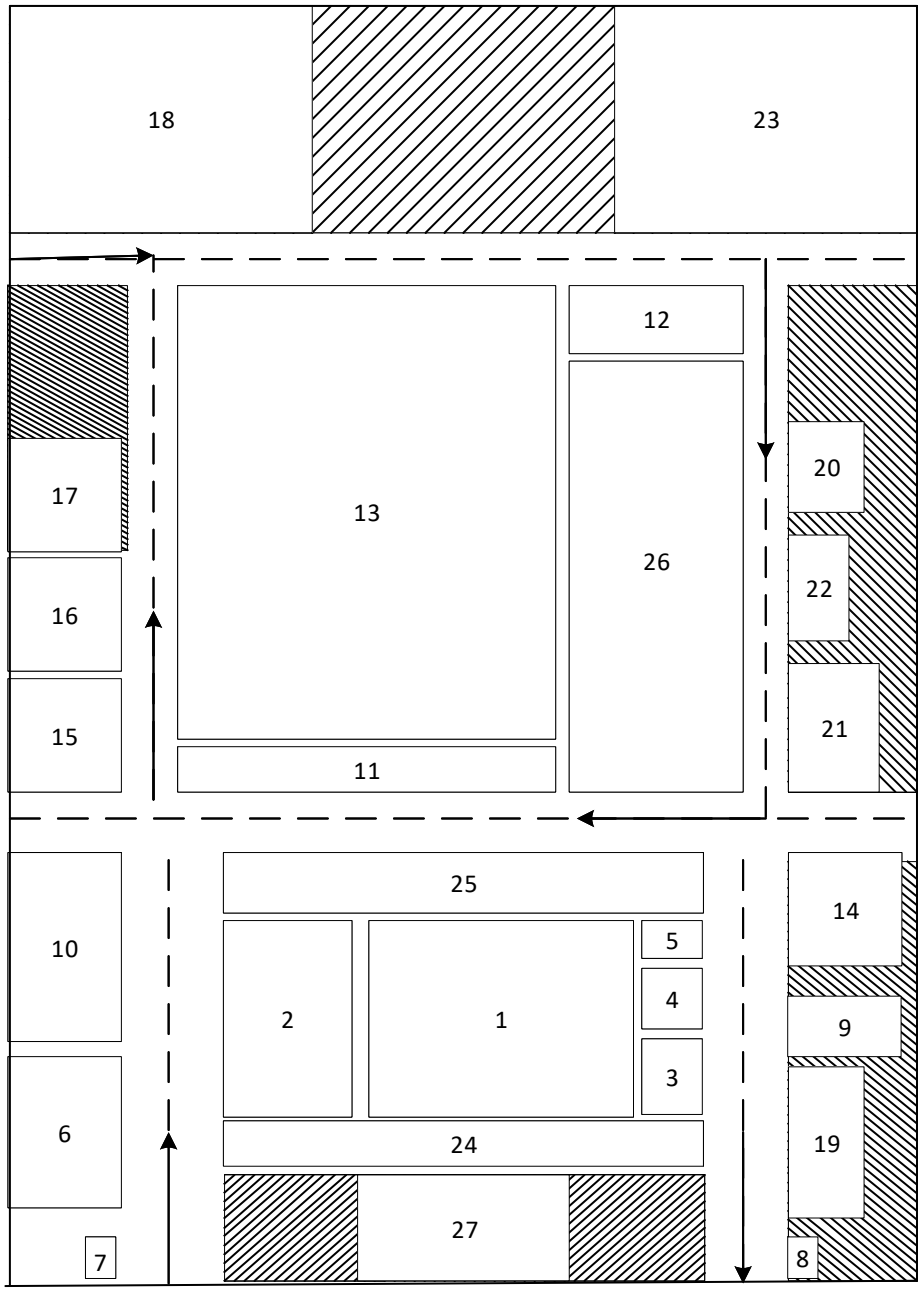
Bagian ini bertugas mengolah limbah hasil produksi, termasuk melakukan pengujian untuk memastikan kandungan bahan berbahaya berada dalam batas aman sebelum dibuang ke lingkungan.

Adapun, rincian luas tanah sebagi bangunan pabri dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah Bangunan Pabrik

No	Nama Bangunan	Panjang, m	Lebar, m	Luas, m2
1	Kantor	35	26	910
2	Gedung serbaguna	26	17	442
3	Masjid	10	8	80
4	Kantin	8	8	64
5	Koperasi	8	5	40
6	Area parkir utama	20	15	300
7	Pos satpam 1	5,5	4	22
8	Pos satpam 2	5,5	4	22
9	Poliklinik	15	8	120
10	Gudang	25	15	375
11	Area loading space 1	6	50	300
12	Area loading space 2	9	23	207

No	Nama Bangunan	Panjang, m	Lebar, m	Luas, m2
13	Area proses	60	50	3000
14	Ruang alat	15	15	225
15	Laboratorium	15	15	225
16	Ruang control process	15	15	225
17	Ruang control utilitas	15	15	225
18	Area utilitas	40	30	1200
19	area mess	20	10	200
20	Ruang listrik	12	10	120
21	Bengkel	17	12	204
22	Area pemadam kebakaran	14	8	112
23	UPL	40	30	1200
24	Halaman depan kantor	6	63,5	381
25	Halaman belakang kantor	8	63,5	508
26	Perluasan Pabrik	57	23	1311
27	Taman	14	28	392
29	Jalan			6,198
	Luas Bangunan			16.300,61
	Luas Tanah			19.297



Keterangan :

1. Kantor
2. Gedung Serbaguna
3. Masjid
4. Kantin
5. Koperasi
6. Area Parkir Utama
7. Pos Satpam 1
8. Pos Satpam 2
9. Poliklinik
10. Gudang
11. Area Loading Space 1
12. Area Loading Space 2
13. Area Proses
14. Ruang Alat
15. Laboratorium
16. Ruang Control Proses
17. Ruang Control Utilitas
18. Area Utilitas
19. Area Mess
20. Ruang Listrik
21. Bengkel
22. Pemadam Kebakaran
23. UPL
24. Halaman Depan Kantor
25. Halaman Belakang Kantor
26. Perluasan Pabrik
27. Taman

Perluasan Pabrik

Jalan

U
B
T
S

1:1000

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

Tata letak mesin atau alat proses (*machines layout*) merupakan pengaturan optimal dari seluruh komponen fasilitas proses di dalam pabrik, yang bertujuan untuk memastikan efisiensi operasional, keamanan kerja, serta kemudahan dalam pengawasan dan pemeliharaan. Dalam merancang tata letak alat proses, perlu dilakukan perencanaan yang cermat agar seluruh kegiatan produksi dapat berlangsung secara lancar dan aman, serta mendukung pencapaian target *zero accident.*

4.3.1. Aliran Bahan Baku Produk

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

4.3.2. Aliran Udara

Sirkulasi udara di dalam dan sekitar area proses harus dipastikan kelancarannya. Sirkulasi udara yang lancar diperlukan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat yang berupa penumpukan atau akumulasi bahan kimia berbahaya yang dapat membahayakan keselamatan karyawan.

4.3.3. Pencahayaan

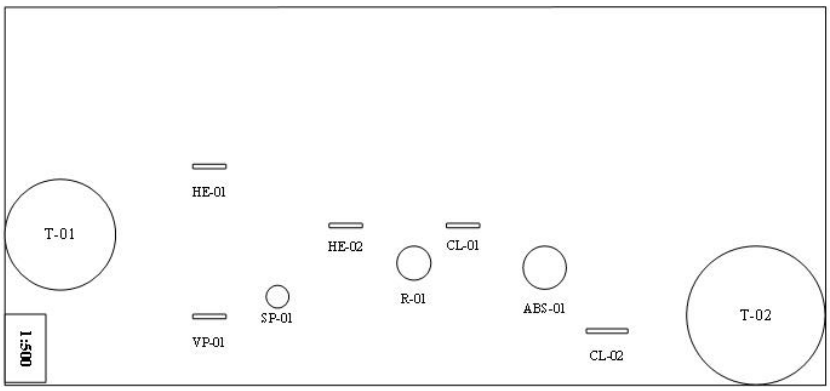
Pencahayaan di seluruh area pabrik harus memadai terutama pada malam hari karena pabrik bekerja selama 24 jam sehari. Selain itu, pada tempat-tempat tertentu dimana terdapat alat-alat proses yang mempunyai risiko akan bahaya yang tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.

4.3.4. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Lalu lintas manusia dan kendaraan di area proses juga harus menjadi perhatian termasuk jarak antar alat, lebar jalan dan kemudahan akses bagi karyawan untuk mencapai alat-alat proses. Hal ini dilakukan agar apabila terjadi gangguan pada alat, karyawan dapat dengan cepat memperbaiki sehingga dapat meminimalisir potensi bahaya yang dapat ditimbulkan.

4.3.5. Jarak antar Alat Proses

Dalam penyusunan alat proses, jarak antar alat proses harus diperhitungkan dengan cermat, terutama pada alat yang beroperasi dan bersuhu tinggi. Penyusunan alat proses harus saling berurutan berdasarkan urutan kerja dan fungsinya, Untuk alat proses yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi ditempatkan terpisah dari alat proses lainnya serta harus mudah dijangkau oleh pemadam kebakaran. Setiap alat harus ditempatkan di tempat yang cukup, sehingga mudah untuk pemeriksaan, perbaikan, dan pemindahan alat guna menjamin keselamatan kerja. Pengaturan alat kontrol dilakukan pada ruang kendali (*control room*).



Gambar 4. 3 Gambar Tata Letak Alat Proses dengan Skala 1:500

4.4. Organisasi Perusahaan

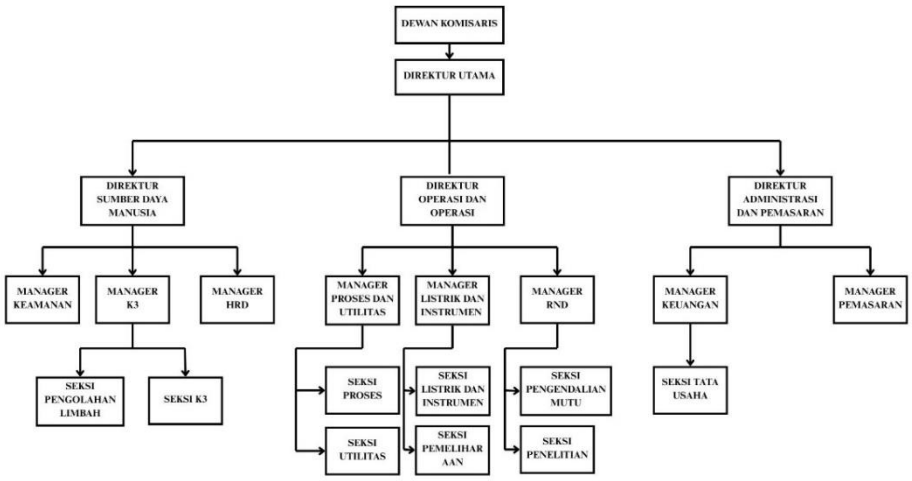
Untuk mendukung efisiensi dan efektivitas operasional dalam perusahaan, diperlukan struktur organisasi yang jelas dan terencana. Struktur organisasi yang baik akan membantu setiap jabatan dalam memahami peran, tanggung jawab, dan batasan kewenangan masing-masing, sehingga menghindari tumpang tindih tugas dan meningkatkan koordinasi antardepartemen.

Dengan demikian, struktur organisasi berfungsi sebagai representasi sistematis dari pembagian bagian kerja, posisi, tugas, kedudukan, wewenang, dan tanggung jawab setiap personel dalam perusahaan. Struktur ini juga menjadi dasar dalam pengambilan keputusan, pelaksanaan kegiatan, serta pengendalian jalannya operasi perusahaan, sehingga seluruh aktivitas dapat berjalan secara terpadu dan terarah.

Terdapat dua kelompok yang berpengaruh dalam menjalankan garis organisasi staff ini, yaitu:

1. Sebagai atau orang-orang yang menjalankan tugas pokok organisasi dalam rangka mencapai tujuan.
2. Sebagai staff yaitu orang-orang yang melakukan tugas dengan keahlian yang dimilikinya, dalam hal ini berfungsi untuk memberikan saran-saran kepada unit operasional.
3. Dalam menjalankan tugas dan wewenangnya, para pemegang saham yang merupakan pemilik perusahaan diwakili oleh Dewan Komisaris. Dalam menjalankan tugas perusahaan dilaksanakan oleh Direktur Utama yang dibantu oleh beberapa Direktur di bawahnya. Baik Dewan Komisaris maupun Direktur

Utama dipilih oleh para pemegang saham dalam Rapat Umum Pemegang Saham.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi

4.4.1. Tugas dan Wewenang

A. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris merupakan organ pengawas dalam perusahaan yang dipilih oleh para pemegang saham melalui Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Anggota dewan komisaris umumnya terdiri atas individu atau badan hukum yang memiliki saham mayoritas atau memiliki pengalaman dan kompetensi dalam bidang usaha perusahaan. Dewan komisaris bertanggung jawab kepada RUPS atas pengawasan dan pengendalian terhadap kebijakan serta pelaksanaan operasional yang dijalankan oleh direksi.

Adapun tugas dewan komisaris sebagai berikut:

1. Menunjuk dan membentuk jajaran direktur yang akan mengoperasikan perusahaan
2. Melakukan pengontrolan kinerja pada jajaran direktur
3. Mengorganisasikan pelaksanaan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)

B. Direktur Utama

Direktur utama merupakan pejabat eksekutif tertinggi dalam struktur organisasi perusahaan, yang memiliki tanggung jawab penuh atas keseluruhan jalannya operasional dan kebijakan strategis perusahaan. Dalam menjalankan tugasnya, direktur utama bertanggung jawab langsung kepada dewan komisaris, khususnya terkait kebijakan dan keputusan penting yang telah ditetapkan dalam rangka mencapai tujuan perusahaan secara menyeluruh.

Tugas direktur umum adalah sebagai berikut:

1. Memastikan kestabilan struktur organisasi perusahaan merupakan hal yang krusial guna menjamin kelancaran komunikasi dan koordinasi antara seluruh elemen perusahaan, mulai dari pemegang saham, jajaran manajemen, karyawan, hingga konsumen. Stabilitas organisasi yang terjaga akan menciptakan lingkungan kerja yang kondusif, mendukung pengambilan keputusan yang tepat, serta meningkatkan kepercayaan dan kepuasan seluruh pihak yang terlibat dalam aktivitas perusahaan.

2. Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan rapat pemegang saham
3. Mengkoordinasikan kerja sama antara bagian operasi, sumber daya manusia, dan administrasi

C. Direktur Sumber Daya Manusia

Direktur Sumber Daya Manusia memiliki tanggung jawab dalam mengelola dan mempertahankan kualitas sumber daya manusia di dalam perusahaan. Tugas utamanya meliputi perencanaan dan pelaksanaan program pelatihan serta pengembangan kompetensi karyawan, guna memastikan bahwa setiap individu mampu menjalankan tugas secara profesional dan produktif. Melalui upaya tersebut, direktur SDM berperan penting dalam menumbuhkan dan menjaga etos kerja yang positif di seluruh lingkungan perusahaan.

D. Direktur Operasi dan Proses

Direktur Operasi dan Proses memiliki wewenang dan tanggung jawab dalam merumuskan kebijakan teknis serta operasional pabrik, guna memastikan seluruh kegiatan produksi berjalan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Selain itu, direktur ini juga bertugas untuk mengawasi kelancaran dan kesinambungan proses operasional, termasuk melakukan evaluasi dan pengendalian terhadap efisiensi serta efektivitas sistem produksi secara menyeluruh.

Direktur Operasi dan Proses membawahi:

1. Manager Proses
    - Menjalankan proses
    - Mengawasi persediaan bahan baku dan penyimpanan hasil produksi transportasi produk
    - Bertanggung jawab atas kelancaran fungsional dan utilitas
2. Manager Pemeliharaan Listrik dan Instrumentasi, memiliki wewenang untuk:
    - Mengawasi dan melaksanakan pemeliharaan peralatan pabrik serta menjaga keselamatan kerja
    - Melakukan perbaikan serta mendukung kelancaran operasi
    - Melakukan pengecekan terhadap instrumentasi kelistrikan
3. Manager RND, memiliki wewenang untuk:
    - Melakukan pengecekan terhadap instrumentasi kelistrikan
    - Melakukan percobaan terhadap material proses yang sudah selesai produksi untuk bisa didistribusikan ke pasaran

E. Direktur Administrasi dan Pemasaran

Direktur Administrasi dan Pemasaran memiliki kewenangan dalam merencanakan anggaran pendapatan dan belanja perusahaan, serta bertanggung jawab atas pengawasan dan pengendalian keuangan secara menyeluruh. Selain itu, direktur ini juga berperan dalam memastikan bahwa seluruh kegiatan administrasi dan pemasaran berjalan secara efektif, efisien,

dan sesuai dengan strategi perusahaan guna mendukung pencapaian target operasional dan finansial.

F. Seksi

Setiap seksi dalam struktur organisasi memiliki tugas dan wewenang khusus dalam menjalankan aktivitas operasional di lingkup kerjanya, yang dilaksanakan berdasarkan rencana dan arahan dari Kepala Bagian masing-masing. Masing-masing seksi juga memiliki tanggung jawab langsung kepada bagian/unit kerja yang membawahinya secara struktural. Adapun seksi-seksi yang dimaksud meliputi:

1. Seksi proses

Bertanggung jawab dalam melaksanakan dan memastikan kelancaran kegiatan produksi pabrik.

2. Seksi Utilitas

Bertanggung jawab dalam penyediaan air, steam, bahan bakar, dan udara tekan baik untuk proses maupun instrumentasi.

3. Seksi Pemeliharaan dan Bengkel

Bertanggung jawab dalam melakukan perawatan, pemeliharaaan dan pergantian alat-alat serta fasilitas pendukung proses produksi.

4. Seksi Listrik dan Instrumentasi

Bertanggung jawab dalam memastikan ketersediaan energi listrik dan instrumentasi yang dibutuhkan agar proses produski dapat berjalan baik.

5. Seksi Penelitian dan Pengembangan

Bertanggung jawab dalam melaksanakan penelitian dan pengembangan perusahaan.

6. Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu

Bertanggung jawab dalam melaksanakan pengendalian mutu bahan baku, bahan pembantu dan produk.

7. Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Bertanggung jawab dalam memastikan kesehatan karyawan dan keluarga, serta menangani masalah keselamatan kerja di perusahaan.

8. Seksi Unit Pengolahan Limah

Bertanggung jawab dalam melaksanakan pengolahan limbah hasil produksi.

9. Seksi Tata Usaha

Bertanggung jawab dalam mengurus kebijakan teknis dibidang administrasi, kesekretariatan, perencanaan perlengkapan serta aset perusahaan.

10. Seksi Keamanan

Bertanggung jawab dalam menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan mengawasi langsung masalah keamanan perusahaan.

4.4.2. Jadwal Kerja dan Sistem Gaji Karyawan

Pabrik formaldehid direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam satu tahun, dengan waktu operasional 24 jam per hari. Sisa hari yang tidak digunakan untuk produksi dialokasikan untuk kegiatan perbaikan, perawatan rutin, atau

penghentian sementara (*shut down*). Berdasarkan sistem jam kerja, tenaga kerja dalam perusahaan diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu karyawan non-shift (harian) dan karyawan shift. Pembagian ini disesuaikan dengan kebutuhan operasional masing-masing unit kerja guna memastikan kelancaran dan kesinambungan proses produksi.

A. Alasan Pemilihan Jumlah Karyawan

Sumber daya manusia (SDM) merupakan salah satu elemen krusial dalam menjamin keberlangsungan dan efisiensi operasional pabrik formaldehid berbahan baku metanol. Oleh karena itu, jumlah tenaga kerja serta tingkat kompetensi yang sesuai perlu direncanakan secara cermat agar operasional pabrik dapat berlangsung secara optimal dengan dukungan personel yang kompeten di bidangnya masing-masing.

Dalam struktur organisasi perusahaan ini, tenaga kerja diklasifikasikan berdasarkan tingkatan jabatan dan divisi, yang mencerminkan struktur fungsional-hierarkis. Setiap posisi memiliki persyaratan pendidikan minimal sesuai dengan bidang keahliannya, dengan tujuan untuk menjamin bahwa seluruh karyawan memiliki kualifikasi dan keterampilan yang memadai dalam melaksanakan tugas dan tanggung jawabnya.

Penentuan jumlah tenaga kerja untuk pabrik formaldehid berkapasitas produksi 15.000 ton per tahun dilakukan berdasarkan analisis kebutuhan tenaga kerja industri, studi perbandingan dengan pabrik sejenis, serta pertimbangan keseimbangan antara efisiensi SDM dan efektivitas operasional pabrik.

Sebagai perbandingan, PT. Borneo Karya Persada, salah satu produsen formaldehid di Indonesia memiliki kurang lebih 200 karyawan untuk kapasitas produksi 35.0000 ton/tahun. Jika kita menggunakan rasio sederhana:

35000 ton200 karyawan = 175 ton/karyawan

Dengan pendekatan ini, jika pabrik kita menggunakan rasio tenaga kerja yang sama:

15000 ton175 ton/karyawan = 86 karyawan

Berdasarkan standar industri formaldehid dan efisiensi tenaga kerja, angka 86 karyawan dipilih sebagai jumlah optimal untuk memastikan kelancaran operasional tanpa *overstaffing* atau *understaffing*.

B. Karyawan *non-shift*

Karyawan *non-shift* merupakan tenaga kerja yang tidak terlibat secara langsung dalam proses produksi, melainkan menjalankan fungsi-fungsi pendukung, manajerial, dan administratif. Golongan ini mencakup direktur, staf ahli, kepala bagian, kepala seksi, serta seluruh personel yang bertugas di lingkungan perkantoran.

Karyawan non-shift menjalankan tugasnya selama lima hari kerja dalam satu minggu, dengan jam kerja yang telah ditentukan sesuai kebijakan perusahaan dan ketentuan ketenagakerjaan yang berlaku.

Senin – Kamis : 08.00 – 16.00 WIB (istirahat 12.00 -13.00)

Jumat : 08.00 – 16.00 WIB (istirahat 11.30 – 13.30)

Sabtu – Minggu : Hari libur, termasuk hari libur nasional

C. Karyawan *shift*

Karyawan *shift* adalah tenaga kerja yang bertanggung jawab langsung terhadap jalannya proses produksi, termasuk pengawasan terhadap bagian-bagian penting pabrik yang berkaitan dengan keamanan dan kelancaran operasional, sehingga keberadaannya tidak dapat ditinggalkan. Kelompok ini mencakup operator produksi, sebagian personel dari divisi teknik, gudang, utilitas, pengendalian proses, laboratorium, serta petugas keamanan yang menjaga stabilitas dan keamanan selama proses produksi berlangsung.

Untuk memastikan operasional pabrik berjalan secara kontinu selama 24 jam, karyawan shift bekerja secara bergantian sepanjang hari, dan dibagi menjadi tiga kelompok kerja (*shift*) dengan pembagian waktu kerja yang diatur sebagai berikut:

Shift Pagi : 08.00-16.00 WIB

Shift Sore : 16.00-00.00 WIB

Shift Malam : 00.00-08.00 WIB

Sistem kerja karyawan produksi diatur berdasarkan pembagian *shift* yang dijalankan secara bergiliran. Pengaturan ini diterapkan karena unit-unit pada proses produksi membutuhkan pengawasan dan operasional secara kontinu selama 24 jam penuh setiap harinya. Pembagian shift dilakukan dengan mengelompokkan karyawan ke dalam empat regu, di mana tiga regu aktif bertugas dan satu regu mendapat cuti, dengan jatah cuti tahunan selama 12 hari bagi masing-masing regu.

Jam kerja dalam satu hari terbagi ke dalam tiga shift, dengan rincian waktu kerja sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Sistem Kerja Karyawan

Kelompok Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat
Shift 1	06.30-14.30	10.30-11.30
Shift 2	14.30-22.30	18.30-19.30
Shift 3	22.30-06.30	02.30-03.30

Karyawan shift dibagi ke dalam empat kelompok, yaitu Kelompok A, B, C, dan D, dengan sistem rotasi di mana hanya tiga kelompok yang aktif bekerja dalam satu hari, sementara satu kelompok mendapatkan giliran libur. Setiap kelompok menjalani enam hari kerja dan dua hari libur dalam satu siklus mingguan secara bergiliran.

Pada hari libur nasional atau hari besar keagamaan yang telah ditetapkan oleh pemerintah, kelompok yang mendapat giliran kerja tetap diwajibkan masuk, dan jam kerja tersebut akan dihitung sebagai kerja lembur, sehingga karyawan yang bersangkutan berhak memperoleh insentif tambahan sesuai kebijakan perusahaan.

Setiap shift dipimpin oleh seorang Kepala Shift yang bertanggung jawab atas pelaksanaan operasional dan pengawasan kegiatan di masing-masing jam kerja. Jadwal kerja masing-masing kelompok dirancang untuk mendukung kesinambungan produksi dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Jadwal Shift Karyawan

REGU	Hari														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
A	I	I	II	II	III	III			I	I	II	II	III	III	
B	II	II	III	III			I	I	II	II	III	III			I
C	III	III			I	I	II	II	III	III			I	I	II
D			I	I	II	II	III	III			I	I	II	II	III
REGU	**Hari**														

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A		I	I	II	II	III	III			I	I	II	II	III	III
B	I	II	II	III	III			I	I	II	II	III	III		
C	II	III	III			I	I	II	II	III	III			I	I
D	III			I	I	II	II	III	III			I	I	II	II

D. Sistem Kerja Karyawan

Sistem penggajian dalam perusahaan ini disusun berdasarkan sejumlah pertimbangan, antara lain tingkatan jabatan atau golongan, latar belakang pendidikan, pengalaman kerja, serta kondisi lingkungan kerja yang berkaitan dengan tingkat risiko pekerjaan. Skema penggajian ini dirancang untuk mencerminkan tanggung jawab, kompetensi, serta beban kerja masing-masing karyawan secara adil dan proporsional. Secara umum, struktur gaji dibagi menjadi tiga komponen utama, yaitu:

1. Gaji Bulanan

Gaji bulanan merupakan gaji yang diberikan kepada karyawan tetap dengan jumlah yang sesuai dengan peraturan perusahaan dan dibayarkan pada tanggal 1 setiap bulannya.

2. Gaji Harian

Gaji harian merupakan gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian dan karyawan borongan.

3. Gaji Lembur

Gaji lembur merupakan gaji tambahan yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja pokok.

Rincian gaji setiap karyawan pada setiap jabatan dilihat pada tabel:

Tabel 4. 4 Jumlah dan Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan
1	Dewan Komisaris	2	45.000.000
2	Direktur Utama	1	35.000.000
3	Direktur Operasi dan Produksi	1	35.000.000
4	Direktur Administrasi dan Umum	1	35.000.000
5	Ka. Bag. Proses dan Utilitas	1	35.000.000
6	Ka. Bag. Perencanaan dan Pengendalian	1	20.000.000
7	Ka. Bag. Teknologi	1	20.000.000
8	Ka. Bag. Administrasi Keuangan	1	20.000.000
9	Ka. Bag. PSDM	1	20.000.000
10	Ka. Bag. Umum	1	20.000.000
11	Ka. Bag. IT	1	20.000.000
12	Ka. Sek. Utilitas	1	15.000.000
13	Ka. Sek. Bengkel dan Pemeliharaan	1	15.000.000
14	Ka. Sek. Operasi dan Pemeliharaan	1	15.000.000
15	Ka. Sek.Proses	1	15.000.000
16	Ka. Sek. Administrasi Pemasaran	1	15.000.000
17	Ka. Sek. Administrasi Penjualan	1	15.000.000
18	Ka. Sek. Pengolahan Energi	1	15.000.000
19	Ka. Sek. Pengendalian Kualitas	1	15.000.000
20	Ka. Sek. Keamanan	1	15.000.000
21	Ka. Sek. Pelayanan Umum	1	15.000.000
22	Ka. Sek. Akuntansi Biaya	1	15.000.000
23	Ka. Sek. Pelapor Keuangan dan Manajemen	1	15.000.000
24	Ka. Sek. Keuangan	1	15.000.000
25	Ka. Sek. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	1	15.000.000
26	Karyawan Pemasaran	4	10.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan
27	Karyawan K3	5	10.000.000
28	Karyawan Kas/Anggaran	4	10.000.000
29	Karyawan Proses dan Utilitas	21	10.000.000
30	Karyawan Pemeliharaan	4	7.000.000
31	Perawat	4	5.800.000
32	Satpam	6	3.500.000
33	Supir	6	3.800.000
34	*Cleaning Service*	6	3.800.000
TOTAL		86	

E. Cuti Karyawan

Cuti merupakan hak karyawan yang telah diatur dalam Undang-Undang Ketenagakerjaan No. 13 Tahun 2003, dan perusahaan ini menerapkan kebijakan cuti sebagai berikut:

Cuti tahunan diberikan kepada setiap karyawan selama 12 hari kerja dalam satu tahun. Apabila hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun tersebut.

1. Cuti tahunan diberikan kepada setiap karyawan selama 12 hari kerja dalam satu tahun. Apabila hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun tersebut.
2. Cuti Sakit diberikan kepada setiap karyawan yang menderita sakit berdasarkan keterangan dokter, termasuk kepada karyawan wanita yang melahirkan.

3. Cuti Melahirkan wanita yang akan melahirkan berhak cuti selama 3 bulan dan selama cuti tersebut gaji tetap dibayar dengan ketentuan jarak kelahiran anak pertama dan anak kedua minimal 2 tahun.
4. Cuti Pernikahan diberikan kepada setiap karyawan yang menikah berhak atas 3 hari cuti dan jika anak karyawan menikah, karyawan diberikan 1 hari cuti.
5. Cuti Kematian diberikan kepada setiap karyawan jika orang tua, pasangan, atau anak karyawan meninggal dunia, karyawan diberikan 2 hari cuti duka cita. Dan jika saudara kandung atau mertua meninggal dunia, diberikan 1 hari cuti duka cita.
6. Cuti Besar diberikan kepada karyawan yang telah bekerja selama 5 tahun berturut-turut berhak mendapatkan cuti besar selama 1 bulan, yang dapat diambil sekaligus atau bertahap.

BAB V UTILITAS

Utilitas merupakan unit pendukung yang berperan penting dalam menunjang kelancaran proses produksi, khususnya dalam penyediaan, persiapan, dan pendistribusian berbagai kebutuhan operasional pabrik. Pada pabrik formaldehid dengan kapasitas produksi 15.000 ton per tahun, sistem utilitas dirancang secara terintegrasi agar dapat memenuhi seluruh kebutuhan proses secara efisien dan berkesinambungan. Unit utilitas pada pabrik formaldehid dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ini terbagi atas beberapa unit sebagai berikut:

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)

Unit penyediaan dan pengolahan air berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air dalam berbagai keperluan operasional pabrik, meliputi air proses, air pendingin, air umpan boiler, serta air sanitasi yang digunakan untuk kebutuhan perkantoran dan lingkungan sekitar. Sistem ini dirancang agar pasokan air dapat terpenuhi dengan kualitas dan kuantitas yang sesuai standar.

Salah satu peran penting dari unit ini adalah dalam sistem pendinginan (*cooling process*), di mana air digunakan untuk menyerap panas dari berbagai peralatan proses demi menjaga kestabilan suhu operasi dan mencegah overheating.

2. Unit Penyedia *Steam*

Unit penyediaan *steam* (uap air panas) berperan sebagai sumber energi panas yang digunakan dalam berbagai peralatan proses, seperti *heater, evaporator*, dan *reboiler.* Steam digunakan untuk mendukung proses pemanasan secara efisien, baik untuk menaikkan suhu aliran proses, menguapkan cairan, maupun mendukung proses pemisahan komponen dalam unit-unit terkait. Ketersediaan dan kestabilan

suplai steam sangat penting agar proses produksi dapat berjalan secara optimal dan berkesinambungan.

3. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Unit pembangkit listrik memiliki fungsi utama sebagai sumber energi untuk mengoperasikan peralatan proses, sistem penerangan, serta berbagai fasilitas pendukung di lingkungan pabrik. Kebutuhan listrik di pabrik ini dipenuhi melalui pasokan dari PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai sumber utama, sementara generator disiapkan sebagai sumber cadangan guna memastikan operasional tetap berjalan apabila terjadi gangguan pasokan dari PLN. Keandalan sistem kelistrikan sangat penting untuk menjaga kontinuitas proses produksi dan keselamatan operasional.

4. Unit Penyediaan Udara Tekan (*Instrument Air System*)

Unit penyedia udara tekan berfungsi untuk menyediakan *compressed air* yang digunakan dalam sistem instrumentasi dan kontrol pneumatik di pabrik. Udara tekan ini diperlukan untuk mengoperasikan berbagai alat kontrol otomatis, seperti *valve* dan actuator, yang bekerja dengan prinsip tekanan udara. Sistem ini terdiri dari kompresor sebagai alat utama untuk menghasilkan udara bertekanan dan tangki udara yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan sekaligus penyeimbang tekanan sebelum udara dialirkan ke seluruh sistem. Keberadaan unit ini sangat vital guna menjamin keakuratan dan keandalan sistem kontrol proses.

5. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar berfungsi untuk menyuplai bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi penggerak generator. Unit ini memastikan

pasokan bahan bakar selalu tersedia dalam kondisi siap pakai guna mendukung operasional generator, terutama saat terjadi gangguan pada pasokan listrik utama dari PLN. Keandalan unit ini sangat penting untuk menjamin kontinuitas suplai listrik di seluruh area pabrik.

6. Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah berfungsi untuk menghilangkan zat pencemar yang terkandung dalam air limbah hasil proses produksi. Proses pengolahan ini dilakukan melalui pendekatan fisika, kimia, dan biologi guna mengeliminasi kontaminan fisik, kimiawi, dan biologis, sehingga air limbah yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan sebelum dibuang atau dimanfaatkan kembali. Sistem ini dirancang untuk mendukung keberlanjutan operasional pabrik sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

5.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

Unit penyediaan dan pengolahan air dalam suatu pabrik berperan penting dalam memenuhi kebutuhan air sesuai spesifikasi teknis yang dibutuhkan untuk berbagai keperluan, antara lain proses produksi, sistem pendinginan, sanitasi fasilitas, serta pengolahan limbah. Unit ini memastikan ketersediaan air dalam jumlah dan kualitas yang memadai guna menunjang kelancaran dan efisiensi operasional pabrik secara keseluruhan.

5.1.1. Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air dalam operasional pabrik, umumnya digunakan sumber air seperti air tanah (sumur), air sungai, air danau, maupun air laut, tergantung pada ketersediaan dan kualitasnya. Dalam perancangan pabrik

formaldehid ini, sumber air yang digunakan berasal dari laut, karena keberadaannya yang melimpah dan lokasinya yang berdekatan dengan pabrik, sehingga memudahkan proses pengambilan serta distribusi air ke unit-unit yang membutuhkan.

1. Air Untuk Keperluan Umum (*General Uses*) / Air Sanitasi

Air untuk keperluan umum adalah air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan non-proses di lingkungan pabrik, terutama dalam hal sanitasi dan pendukung operasional lainnya. Kebutuhan ini mencakup penyediaan air bagi karyawan (seperti kamar mandi dan tempat ibadah), laboratorium, area taman, air servis (*service water*), serta cadangan air darurat. Seluruh kebutuhan tersebut harus dipenuhi dengan air yang memenuhi standar kebersihan agar mendukung kenyamanan dan kesehatan lingkungan kerja.

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air untuk Keperluan Umum

Kebutuhan	**Jumlah**	***Flowrate*, kg/jam**
Kantor dan Karyawan	120 liter/orang/hari	430
Laboratorium dan Taman	20% dari kebutuhan karyawan	86
Service Water dan Cadangan	140% dari total jumlah kebutuhan karyawan, lab, dan taman	722,4
Total Air Keperluan Umum		1238,4

Sebagai langkah antisipasi demi menjamin keamanan operasional, jumlah air untuk keperluan umum dirancang dengan penambahan overdesign sebesar 20% dari total kebutuhan dasar. Dengan demikian, air yang disediakan untuk kebutuhan umum direncanakan sebesar 1.486,08 kg/jam guna memastikan ketersediaan tetap terjaga dalam kondisi fluktuatif atau keadaan darurat.

2. Air Untuk Kebutuhan Pemadaman (*Hydrant Water*)

Air untuk pemadaman kebakaran merupakan salah satu kebutuhan pendukung yang wajib tersedia di pabrik sebagai bagian dari sistem keselamatan kerja (*safety*). Air ini disiapkan khusus untuk digunakan dalam kondisi darurat, yaitu ketika terjadi kebakaran, dan bersifat tidak kontinu (insidental) karena hanya digunakan saat keadaan darurat. Kebutuhan air hydrant diperkirakan sebesar 20% dari kebutuhan air untuk keperluan umum, yaitu sebesar 297,216 kg/jam.

3. Air Pendingin

Air pendingin digunakan dalam sistem pendinginan (*cooling system*) dengan tujuan untuk menjaga stabilitas suhu operasi peralatan proses, sehingga proses produksi dapat berlangsung secara optimal dan aman. Jumlah kebutuhan air pendingin ditentukan berdasarkan beban panas yang dihasilkan selama proses berlangsung dan akan dihitung lebih lanjut sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	***Flowrate*, kg/jam**
Cooler-01 (CL-01)	295,60
Cooler-02 (CL-02)	175,13
Total Kebutuhan Air Pendingin	470,73

Untuk menjamin keandalan dan keselamatan operasional, kebutuhan air pendingin dirancang dengan penambahan overdesign sebesar 20% dari total kebutuhan dasar. Dengan demikian, air pendingin yang disediakan direncanakan sebesar 564,87 kg/jam. Sistem pendingin ini terdiri atas *cooling tower*, kolam penampungan (*cold basin*), serta jaringan distribusi air pendingin. Selama operasi pada kondisi *steady state*, sistem *cooling tower* berpotensi mengalami kehilangan

air (*water losses*) yang disebabkan oleh penguapan (*evaporation*), *drift loss* (kehilangan air karena terbawa aliran udara), serta *blowdown* (pembuangan sebagian air untuk mengontrol konsentrasi zat terlarut). Oleh karena itu, untuk menjaga keseimbangan sistem, *make-up water* yang dibutuhkan diperkirakan sebesar 18,17 kg/jam.

4. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler berfungsi sebagai bahan baku dalam proses pembangkitan *steam*, yang merupakan salah satu utilitas penting guna menunjang kelangsungan proses produksi. *Steam* yang dihasilkan berupa uap jenuh (*saturated steam*) dengan temperatur operasi sebesar 280 °C. Kebutuhan air umpan boiler dalam pabrik formaldehid ini akan dihitung berdasarkan kapasitas steam yang dibutuhkan oleh sistem pemanas, serta memperhitungkan efisiensi boiler dan potensi kehilangan air selama operasi. Estimasi kebutuhan air umpan boiler untuk pabrik ini akan disajikan dan dianalisis pada bagian berikutnya.

Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Nama Alat	***Flowrate*, kg/jam**
Reaktor-01 (R-01)	5000
Total Kebutuhan Air Umpan Boiler	5000

Dalam rangka menjamin aspek keamanan dan kontinuitas operasional, kebutuhan air untuk keperluan umum dirancang dengan penambahan overdesign sebesar 20% dari total estimasi kebutuhan dasar. Berdasarkan perhitungan tersebut, maka total air yang disediakan untuk kebutuhan umum ditetapkan sebesar 6.000 kg/jam. Penambahan ini bertujuan untuk mengantisipasi fluktuasi konsumsi air serta kemungkinan terjadinya keadaan darurat selama proses produksi berlangsung.

5. Air Proses

Air proses merupakan air yang digunakan secara langsung dalam area proses produksi dan memiliki peran penting dalam menjamin kelancaran serta efisiensi operasi pabrik. Agar dapat digunakan dalam sistem produksi, air proses harus memenuhi sejumlah persyaratan tertentu, seperti tingkat kemurnian, pH yang sesuai, tidak mengandung senyawa pengganggu reaksi kimia, serta tidak menyebabkan korosi atau pengendapan pada peralatan proses. Kualitas air proses yang baik sangat menentukan kestabilan reaksi kimia, efisiensi perpindahan panas, serta kualitas produk akhir yang dihasilkan, seperti:

a. Air Jernih
b. Tidak Berasa
c. Tidak Berbau
d. Tidak mengandung zat organik dan anorganik

Pada pabrik formaldehid ini, kebutuhan air proses yang digunakan khususnya pada unit Absorber-01 diperkirakan sebesar 887,42 kg/jam. Untuk mengantisipasi kemungkinan fluktuasi beban proses dan memastikan ketersediaan air tetap tercukupi selama operasi, maka dilakukan perancangan dengan *overdesign* sebesar 20%. Dengan demikian, total air proses yang disiapkan mencapai 1.064,90kg/jam. Penambahan ini bertujuan untuk menjaga kontinuitas operasional dan mencegah terjadinya gangguan akibat kekurangan pasokan air selama proses berlangsung.

5.1.2. Sumber Air

Air berperan sebagai salah satu utilitas esensial yang mendukung kelangsungan operasi pabrik formaldehid, terutama dalam proses pendinginan

sistem, pembangkit uap (*steam*), serta kebutuhan umum lainnya seperti sanitasi dan layanan domestik. Oleh karena itu, dalam perancangan sistem utilitas pabrik, menjadi aspek krusial yang harus dipertimbangkan secara matang guna menjamin kelancaran dan efisiensi proses produksi.

Tabel 5. 4 Total Kebutuhan Air

Kebutuhan Air	***Flowrate*, kg/jam**
Air Untuk Keperluan Umum (*General Uses*) / Air Sanitasi	1486,08
Air untuk Kebutuhan Pemadaman	297,22
Air Pendingin	18,17
Air Umpan Boiler	666,67
Air Proses	887,42
Total Kebutuhan Air Keseluruhan	3355,56

Pembangunan pabrik formaldehid direncanakan berlokasi di Bontang, Provinsi Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi ini mempertimbangkan ketersediaan sumber air yang melimpah dan keberlanjutan pasokannya sepanjang tahun. Oleh karena itu, air laut dipilih sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan air operasional pabrik. Dengan total kebutuhan air sebesar 3.355,56 kg/jam, wilayah perairan di sekitar Bontang dinilai cukup aman dan layak digunakan sebagai sumber pasokan air proses maupun utilitas lainnya.

5.1.3. Pengolahan Air

Air laut dimanfaatkan sebagai sumber utama pasokan air pabrik melalui sistem pengambilan dan pengolahan yang dirancang secara khusus agar kualitasnya memenuhi standar yang dibutuhkan untuk air proses dan keperluan utilitas. Proses pengolahan ini dilakukan secara bertahap, mencakup tahapan pengolahan fisik, pengolahan kimia, hingga pemurnian lanjutan, guna memastikan air yang

didistribusikan ke seluruh unit operasional pabrik memiliki karakteristik yang sesuai dengan persyaratan teknis.

a. *Screening*

Pengambilan air laut dilakukan secara langsung melalui sistem *direct intake* menggunakan pipa khusus. Pada ujung pipa pemasukan dilengkapi dengan *strainer* (saringan) yang berfungsi untuk menyaring partikel-partikel besar seperti sampah, kotoran, serta mencegah masuknya biota laut seperti ikan ke dalam sistem pengolahan air. Sistem ini dirancang agar aliran air laut masuk tetap lancar, bersih, dan aman sebelum memasuki tahap pengolahan berikutnya.

Tahap *screening* merupakan langkah awal dalam sistem pengolahan air yang berfungsi untuk menyaring material berukuran besar, seperti sampah plastik, potongan kayu, ranting, dan benda terapung lainnya yang terbawa bersama air laut. Proses ini menggunakan *bar screen*, yaitu alat penyaring dengan bilah-bilah logam yang disusun sejajar dan memiliki jarak tertentu antar bilahnya. Tujuannya adalah agar hanya partikel berukuran besar yang tertahan, sementara air dan partikel halus tetap dapat mengalir menuju tahap selanjutnya. Setelah melalui proses penyaringan ini, air laut akan dialirkan ke kolam ekualisasi untuk proses penyesuaian lebih lanjut.

b. Ekualisasi dan Sedimentasi

Air yang telah melalui tahap penyaringan kemudian dialirkan menuju kolam ekualisasi, yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sekaligus untuk menstabilkan laju aliran dan konsistensi kualitas air sebelum diproses lebih lanjut. Kolam ini juga berfungsi sebagai *buffer zone* untuk meredam fluktuasi debit serta

konsentrasi zat terlarut yang mungkin terjadi akibat perubahan kondisi pasokan air laut. Setelah proses ekualisasi, air dialirkan ke unit sedimentasi, di mana partikel tersuspensi berukuran besar akan mengendap secara alami akibat gaya gravitasi. Tahap ini berperan penting dalam mengurangi beban pencemar pada unit-unit pengolahan berikutnya.

c. Koagulasi, Flokulasi, dan Pengendapan

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan partikel halus dan koloid yang tidak dapat dipisahkan hanya dengan sedimentasi gravitasi. Penghilangan dilakukan melalui proses koagulasi, yaitu dengan menetralkan muatan listrik pada partikel koloid sehingga memungkinkan partikel-partikel tersebut untuk saling berikatan membentuk flok-flok berukuran lebih besar dan mudah mengendap. Pada tahap koagulasi, ditambahkan zat kimia koagulan berupa aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) ke dalam air. Koagulan ini akan menghasilkan ion Al^{3+} yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) dalam air membentuk endapan aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$). Endapan ini berperan sebagai jembatan yang mengikat partikel tersuspensi dan zat koloid.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4 \qquad (1)$$

Pembentukan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai produk samping dapat menyebabkan penurunan pH air. Untuk menjaga agar pH tetap berada dalam kisaran optimum proses koagulasi, yaitu sekitar pH 6,5–7,5, ditambahkan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebagai agen alkali. Zat ini tidak hanya berfungsi sebagai penyesuai pH, tetapi juga membantu proses pengendapan ion kalsium (Ca^{2+}) yang

mungkin terkandung dalam air melalui pembentukan kalsium karbonat ($CaCO_3$), sebagaimana ditunjukkan pada reaksi berikut:

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3 \qquad (1)$$

Setelah proses koagulasi, air mengalir ke unit flokulasi, di mana dilakukan pengadukan lambat (*slow mixing*) untuk memperbesar flok yang terbentuk sehingga lebih mudah mengendap pada tahap pengendapan (*clarifier*). Air bersih dari bagian atas *clarifier* akan dialirkan menuju proses filtrasi untuk penyisihan partikel sisa, sedangkan lumpur hasil pengendapan akan dibuang ke sistem pengolahan lumpur.

d. Filtrasi

Filtrasi merupakan tahapan penyaringan zat tersuspensi dalam air yang bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel halus yang belum dapat dipisahkan melalui proses pengendapan sebelumnya. Dalam pabrik ini, proses filtrasi dilakukan dengan memanfaatkan dua jenis media, yaitu filter pasir (*sand filter*) dan filter karbon aktif (*carbon filter*). *Sand filter* digunakan untuk menyaring partikel padat mikroskopis melalui lapisan pasir dengan ukuran tertentu, sedangkan karbon aktif berfungsi menyerap senyawa organik, warna, bau, dan zat pencemar lain yang masih tersisa dalam air, sehingga kualitas air hasil filtrasi menjadi lebih jernih dan memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya.

1) *Sand Filter*

Sand filter merupakan unit penyaringan air yang bekerja dengan memanfaatkan lapisan pasir sebagai media filtrasi untuk menghilangkan partikel tersuspensi, kekeruhan, dan sebagian padatan terlarut dalam air. Prinsip kerja *sand filter* didasarkan pada mekanisme filtrasi secara fisik, yaitu ketika air dialirkan melewati

media pasir, partikel-partikel halus akan tertahan di sela-sela butiran pasir. Untuk menjaga efektivitas penyaringan, *sand filter* memerlukan perawatan rutin melalui proses backwashing, yaitu pembalikan arah aliran air untuk membersihkan endapan kotoran yang tertahan di media pasir dan mengembalikan kapasitas filtrasi sistem.

2) *Carbon Filter*

Carbon filter atau saringan karbon aktif merupakan unit pemurnian air yang berfungsi untuk menghilangkan senyawa organik, warna, bau, rasa, serta sisa klorin yang masih terdapat dalam air. Media penyaring yang digunakan adalah karbon aktif granular, yang memiliki luas permukaan spesifik sangat besar dan kemampuan adsorpsi yang tinggi. Sifat ini memungkinkan karbon aktif menjerap senyawa-senyawa pengotor secara efektif, sehingga air yang dihasilkan menjadi lebih jernih, tidak berbau, dan layak untuk digunakan dalam proses berikutnya.

e. *Reverse Osmosis*

Setelah melewati proses filtrasi awal menggunakan *sand filter* dan *carbon filter*, air hasil olahan masih mengandung garam-garam terlarut serta senyawa ionik yang tidak dapat dihilangkan melalui metode penyaringan konvensional. Oleh karena itu, diperlukan proses lanjutan berupa *Reverse Osmosis* (RO). *Reverse osmosis* merupakan teknologi pemurnian air yang bekerja dengan cara memberikan tekanan tinggi untuk memaksa air melewati membran semipermeabel. Membran ini bersifat selektif, hanya mengizinkan molekul air untuk melewati, sementara ion garam, senyawa organik, dan kontaminan lainnya tertahan.

Pada perancangan pabrik formaldehid ini, sistem RO dibagi menjadi dua tahap, yaitu *Seawater Reverse Osmosis* (SWRO) untuk memproses air laut dengan kadar

garam tinggi, dan *Brackish Water Reverse Osmosis* (BWRO) sebagai tahap lanjutan untuk menghasilkan air dengan kemurnian lebih tinggi sesuai kebutuhan proses industri.

1) *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO)

Setelah melalui tahapan perlakuan kimia (*chemical treatment*), air laut kemudian dipompa menuju unit *Seawater Reverse Osmosis* (SWRO), yang merupakan komponen utama dalam proses desalinasi. Dalam unit ini, air laut dialirkan dengan tekanan tinggi, berkisar antara 13 hingga 17 atm, melewati membran semipermeabel SWRO. Proses ini mampu mengurangi kadar garam hingga 99,7% (Wattech, 2017), sehingga menghasilkan air permeat dengan kandungan *Total Dissolved Solids* (TDS) kurang dari 500 ppm.

Efisiensi pemulihan (*recovery rate*) dari sistem SWRO dapat mencapai 85%, tergantung pada kualitas awal air laut yang digunakan. Dalam rancangan ini, *recovery rate* aktual sebesar 45% dicapai, yang berarti 45% dari debit umpan menjadi air permeat, sementara sisanya 55% berupa larutan pekat (*brine*) dibuang sebagai hasil samping dari proses desalinasi.

2) *Brackish Water Reverse Osmosis* (BWRO)

Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO) merupakan tahap lanjutan dari proses *reverse osmosis* yang digunakan untuk memisahkan garam dan mineral terlarut dalam air payau. Proses ini memanfaatkan membran semipermeabel dengan ukuran pori yang sangat kecil, sehingga hanya molekul air yang dapat melaluinya, sedangkan ion-ion garam tertahan. BWRO umumnya digunakan untuk mengolah

air hasil intermediate dari proses SWRO, yang masih mengandung kadar garam menengah.

Karena tingkat *Total Dissolved Solids* (TDS) pada air umpan BWRO lebih rendah dibandingkan air laut, sistem ini dapat dioperasikan pada tekanan lebih rendah, yaitu sekitar 17 hingga 41 bar. BWRO berperan sebagai unit pemoles (*polishing unit*) untuk menjamin bahwa air hasil akhir memenuhi standar demineralisasi yang diperlukan sebelum dialirkan ke unit demineralisasi lanjutan, seperti *ion exchanger*, atau langsung ke sistem penyediaan utilitas pabrik.

Pada sistem ini, *recovery rate* mencapai 80%, yang berarti 80% dari air umpan menjadi air produk, sementara 20% sisanya berupa konsentrat (*brine*) yang dibuang.

f. *Demineralisasi*

Proses *demineralisasi* merupakan metode pengolahan air yang bertujuan untuk menghilangkan ion-ion terlarut, baik kation maupun anion, yang dapat menyebabkan pembentukan kerak (*scale*) pada peralatan seperti boiler. Proses ini sangat penting untuk menjamin keandalan dan efisiensi sistem utilitas termal dalam pabrik. *Demineralisasi* umumnya dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu:

1) *Cation Exchanger*

Cation exchanger merupakan unit pengolahan air yang berisi resin penukar kation, yang berfungsi untuk menghilangkan ion-ion bermuatan positif (kation) dari air. Ion-ion kation yang umum ditemukan dalam air, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), natrium (Na^{+}), kalium (K^{+}), mangan (Mn^{2+}), besi (Fe^{2+}), dan

aluminium (Al^{3+}) akan ditukar dengan ion hidrogen (H^+) atau natrium (Na^+) yang terdapat pada resin.

Media resin yang digunakan dalam unit ini adalah resin tipe C-300 dengan notasi H_2Z, sebagaimana dijelaskan oleh Powell (1995). Mekanisme reaksi pertukaran ion yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut:

$$H_2Z + \text{Kation} \rightarrow Z\text{–Kation} + 2H^+$$

Dalam proses ini, ion positif yang terdapat dalam air akan berikatan dengan gugus aktif pada resin, menggantikan ion H^+ yang kemudian terlepas ke dalam air. Proses ini berlangsung hingga resin mencapai kondisi jenuh, yaitu ketika sebagian besar gugus aktif resin telah berikatan dengan kation dari air.

Setelah mencapai titik jenuh, resin harus diregenerasi agar dapat digunakan kembali. Regenerasi dilakukan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4), yang berfungsi mengembalikan ion H^+ ke dalam resin dengan cara menggantikan ion-ion kation yang telah menempati situs pertukaran. Dengan demikian, resin siap digunakan kembali untuk siklus pertukaran ion berikutnya.

2) *Anion Exchanger*

Anion exchanger merupakan unit yang digunakan untuk menukar ion-ion negatif (anion) dalam air dengan ion hidroksida (OH^-) yang terdapat pada resin anion. Ion-ion seperti klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-), dan bikarbonat (HCO_3^-) akan ditukar dengan ion OH^- dari resin, sehingga air yang sebelumnya memiliki sifat asam akan menjadi netral.

Pada unit ini digunakan resin tipe C-500P dengan notasi $R(OH)_2$, di mana R merepresentasikan matriks resin penukar anion. Reaksi pertukaran ion yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R(OH)_2 + \text{Anion} \rightarrow R\text{–Anion} + 2OH^- \quad (1)$$

Ion OH^- yang dilepaskan dari resin akan bereaksi dengan ion H^+ yang dihasilkan dari proses sebelumnya di unit *cation exchanger*, membentuk molekul air (H_2O) melalui reaksi netralisasi:

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O \quad (1)$$

Dengan demikian, hasil akhir dari proses demineralisasi adalah air dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi, bebas dari ion-ion terlarut, dan sangat cocok untuk digunakan dalam sistem boiler, proses kimia sensitif, maupun sistem pendingin tertutup.

Ketika resin telah mencapai kondisi jenuh, yaitu saat hampir seluruh gugus aktifnya telah berikatan dengan anion dari air baku, maka dilakukan proses regenerasi. Regenerasi dilakukan dengan larutan natrium hidroksida (NaOH), yang berfungsi untuk mengganti anion-anion terikat dengan ion OH^- dan mengembalikan kemampuan resin untuk digunakan kembali pada siklus pertukaran ion berikutnya.

g. Deaerasi

Deaerasi merupakan proses penting dalam pengolahan *boiler feed water* (BFW) yang bertujuan untuk menghilangkan gas-gas terlarut seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), serta memisahkan kandungan logam berat seperti mangan (Mn) dan besi (Fe). Selain itu, proses ini juga berperan dalam

pengkondisian pH serta penghilangan bau, rasa, dan warna yang dapat mempengaruhi kualitas air umpan boiler.

Kehadiran gas-gas terlarut seperti O_2 dan CO_2 dalam air umpan boiler dapat menyebabkan korosi pada pipa, permukaan logam, dan sistem pemanas, sedangkan kandungan mineral dapat menyebabkan pembentukan kerak (*scaling*) yang mengganggu efisiensi perpindahan panas.

Deaerasi fisis dilakukan dengan steam dari boiler sebagai stripping agent untuk meningkatkan suhu cairan. Peningkatan suhu mengakibatkan kelarutan O_2 dalam air menurun sehingga O_2 akan terlepas dari BFW. Deaerasi kimia dilakukan dengan menambahkan zat kimia berupa hydrazine (N_2H_4) untuk menghilangkan oksigen yang terkandung dalam air dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Sharif et al., 2022).

$$N_2H_4 + O_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O \qquad (1)$$

Selain itu, dalam dearasi kimia juga digunakan Na_2HPO_4 sebagai phosphate treatment agent yang berfungsi untuk mengontrol pH dan membentuk sludge dengan mengikat mineral yang masih terkandung.

h. Boiler

Boiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem utilitas pabrik yang berfungsi untuk menghasilkan uap air (*steam*) yang akan digunakan sebagai media pemanas dalam berbagai peralatan proses, seperti heater, reboiler, dan evaporator, selama berlangsungnya produksi. Proses yang terjadi di dalam boiler dimulai dari air hasil proses deaerasi yang telah dibebaskan dari kandungan gas-gas terlarut seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2). Air tersebut kemudian

dialirkan ke dalam boiler dan dipanaskan hingga mencapai suhu dan tekanan tertentu dengan memanfaatkan bahan bakar, seperti gas alam, minyak bakar, atau bahan bakar lainnya, tergantung pada desain dan kebutuhan pabrik.

Selama proses penguapan berlangsung, air akan berubah menjadi uap, namun zat padat terlarut (*Total Dissolved Solids*/TDS) dan partikel tersuspensi tidak ikut menguap, melainkan akan tertinggal dan terkonsentrasi dalam sistem boiler. Seiring waktu, konsentrasi zat-zat ini akan meningkat, yang dapat menyebabkan terjadinya pengendapan dan pembentukan kerak pada permukaan dalam boiler. Keberadaan endapan dan kerak ini akan menghambat perpindahan panas, mengurangi efisiensi sistem, serta berisiko menimbulkan kerusakan permanen pada permukaan logam boiler akibat overheating.

Untuk mencegah akumulasi zat-zat terlarut yang berlebihan dan menjaga efisiensi serta umur teknis boiler, dilakukan proses yang disebut dengan *blowdown. Blowdown* merupakan metode pembuangan sebagian air dari dalam boiler yang memiliki konsentrasi TDS tinggi, yang kemudian digantikan dengan air baru dari sistem pengolahan air (*make-up water*). Melalui *blowdown*, konsentrasi zat padat di dalam sistem dapat dijaga agar tetap berada dalam batas yang diizinkan, sehingga potensi terbentuknya kerak dan fouling dapat diminimalkan. *Blowdown* dapat dilakukan secara kontinu maupun intermiten, tergantung pada sistem dan pengaturan operasional boiler yang digunakan dalam pabrik.

i. *Cooling Tower*

Cooling tower merupakan komponen vital dalam sistem pendinginan pabrik yang berfungsi untuk menghasilkan air dingin yang akan digunakan sebagai media

pendingin dalam berbagai peralatan proses. Prinsip kerja *cooling tower* adalah memanfaatkan kontak langsung antara air panas dan udara sebagai media pendingin untuk menurunkan suhu air melalui proses evaporasi parsial. Proses ini dimulai dengan mengalirkan air panas yang berasal dari *filtered water storage tank*, dengan suhu sekitar 38°C, menuju bagian atas cooling tower menggunakan sistem distribusi air, seperti pipa dan nozzle distributor.

Air panas tersebut kemudian didistribusikan secara merata ke media pengisi (filler) yang berfungsi memperluas permukaan kontak antara air dan udara. Saat air mengalir ke bawah melalui filler, udara segar disirkulasikan secara berlawanan arah (*counterflow*) atau sejajar (*crossflow*), sehingga terjadi perpindahan panas antara air dan udara. Sebagian air mengalami evaporasi akibat serapan panas laten, yang menyebabkan suhu air turun. Proses evaporasi ini tidak hanya menghilangkan panas dari air, tetapi juga mengurangi volume air dalam sistem. Oleh karena itu, untuk menjaga kestabilan volume dan efisiensi sistem, diperlukan penambahan *make-up water* yang berasal dari *filtered water storage tank*, sebagai kompensasi atas air yang hilang karena penguapan (*evaporation loss*).

Air hasil pendinginan yang telah turun suhunya menjadi sekitar 30°C akan dikumpulkan di bagian bawah *cooling tower* (*cold basin*) dan kemudian dialirkan kembali ke sistem proses untuk digunakan sebagai air pendingin. Untuk menjaga performa dan umur teknis sistem pendinginan, penting untuk memastikan kualitas air pendingin. Air yang digunakan harus bersifat tidak korosif, tidak menyebabkan pembentukan kerak (*scaling*), dan bebas dari mikroorganisme seperti lumut atau bakteri yang dapat mengganggu sistem.

Untuk mencapai kualitas tersebut, dilakukan penambahan bahan-bahan kimia sebagai *chemical treatment*, yang meliputi *corrosion inhibitor* untuk mencegah korosi pada logam, *scale inhibitor* untuk mencegah pembentukan kerak, *non-oxidizing biocide* dan *oxidizing biocide* untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, *dispersant* untuk menjaga kebersihan permukaan alat, serta bahan *pH control* untuk menjaga kestabilan pH air. Dengan sistem pendinginan yang terjaga baik, efisiensi perpindahan panas dapat dipertahankan, serta umur peralatan proses dapat diperpanjang.

5.1.4. Spesifikasi Alat Utilitas

a. Alat Pengolahan Air

1) *Screener*

Fungsi	: Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar, minyalnya daun, ranting, dan sampah-sampah lainnya
Jenis	: *Bar screen*
Material	: *Stainless steel SS304*
Luas Penampang	: 183,46 m2
Jumlah	: 1

2) Kolam Ekualisasi

Fungsi	: Menyeimbangkan fluktuasi debit aliran air laut masuk (akibat pasang surut, variasi permintaan air pabrik, dll.) Menstabilkan parameter kualitas air (TSS, suhu, salinitas

Menyediakan cadangan air jika terjadi gangguan pada intake

Jenis : Bak beton persegi panjang

Material : Beton Bertulang

Waktu Tinggal : 6 jam

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Volume : 58,87 m3/jam

b) Luas Permukaan : 23,55 m2

c) Panjang : 6,86 m

d) Lebar : 3,43 m

Jumlah : 1

3) *Pre-mix tank*

Fungsi : - Penyesuaian pH, dengan Na_2CO_3 agar koagulan bekerja optimal (pH ideal: 6,5–7,5), Desinfeksi awal, Klorin membunuh mikroorganisme sebelum clarifier, Koagulasi awal, $Al_2(SO_4)_3$ membentuk flok partikel agar mudah dipisahkan, Pencampuran homogen, memastikan bahan kimia larut merata dengan air laut

Jenis	: *Stirred Tank dengan Torispherical Head*
Material	: *Carbon Steel SA 283 grade C*
Kondisi Operasi	:
a) Suhu	: 30C
b) Tekanan	: 1 atm
Spesifikasi Kontruksi	:
a) Volume	: 3,20 m3
b) Tinggi Cairan	: 1,20 m
c) Tinggi Total	: 2,17 m
Shell	:
a) Tinggi	: 1,60 m
b) Tebal	: 0,1875 in
c) Diameter (ID)	: 1,60 m
Head	:
a) Bentuk	: *Torispherical*
b) Tinggi	: 0,29 m
c) Tebal	: 0,1875 in
Pengaduk	:
a) Jenis	: *Flat Six-Blade Turbine with Disk*
b) Jumlah	: 1
c) Diameter	: 0,36 m
d) Kecepatan	: 69,10 rpm
e) Daya	: 0,08 Hp

f) Jumlah *Baffle* : 1

g) Jarak Pengaduk : 0,3996 m

h) Lebar *Baffle* : 0,0999 m

Jumlah : 1

4) *Clarifier*

Fungsi : Mengendapkan padatan tersuspensi dan flok hasil koagulasi-flokulasi (dengan $Al_2(SO_4)_3$) dari *premix tank*

Jenis : Bak Silinder Tegak dengan Bentuk Bawah Kerucut

Material : Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)

Waktu Tinggal : 2 jam

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Volume : 18,69 m3

b) Luas Permukaan : 6,54 m2

c) Diameter : 3,32 m

d) Tinggi : 1,66 m

Jumlah : 1

5) *Sand Filter*

Fungsi : Menyaring partikel halus, sisa flok, dan padatan tersuspensi yang masih lolos dari clarifier. Melindungi sistem *downstream* (misalnya *reverse osmosis atau boiler feed water system*), dan menurunkan turbidity hingga <5 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*)/tingkat kekeruhan air

Jenis : *Pressure Sand Filter (Vertikal)*

Material : *Stainless Steel SS304*

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Diameter : 0,78 m

b) Tinggi Tumpukan : 1,10 m

c) Tinggi *Head* : 1,57 m

d) Luas Filtrasi : 1,23 m^2

Jumlah : 1

6) *Carbon Filter*

Fungsi : Menyerap residu klorin bebas (*chlorine residual*) yang dapat merusak membran RO, menyerap senyawa organik terlarut, dan meningkatkan kualitas sensorik dan kimia air

Jenis : *Pressure Vessel Carbon Filter (Vertikal)*

Material : *Stainless Steel SS304*

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Diameter : 1,71 m

b) Tinggi Tumpukan : 1,3 m

c) Tinggi *Vessel* : 4,89 m

d) Luas Filtrasi : 2,29 m^2

Jumlah : 1

7) *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO)

Fungsi : Mengolah air laut menjadi air bersih yang memiliki TDS rendah dengan cara memisahkan garam dan kontaminan lainnya melalui membran semipermeabel

Material : *Stainless Steel SS316L*

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Jumlah Membran : 2

b) Jumlah Trasin : 1

c) *Permeater* : 4,10 m^3/jam

d) *Brine* : 5,01 m^3/jam

Jumlah : 1

Harga :

8) *Brackish Water Reverse Osmosis* (BWRO)

Fungsi : Meningkatkan kemurnian air permeate dari SWRO dengan menghilangkan sisa-sisa TDS dan kontaminan lainnya dan menghasilkan air ultrapure atau demineralisasi untuk air umpan boiler (pembangkit uap)

Material :

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30 C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Jumlah Membran : 2

b) Jumlah Trasin : 1

c) *Permeater* : 3,28 m^3/jam

d) *Brine* : 0,82 m^3/jam

Jumlah : 1

Harga :

9) *Hot Basin*

Fungsi : Menampung sementara air panas dari proses sebelum dialirkan ke *cooling tower*

Jenis : Bak Beton Persegi Panjang

Material : Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)

Waktu Tinggal : 5 menit

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 55 C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Volume : 0,09 m^3

b) Luas Permukaan : 0,03 m^2

c) Panjang : 0,31 m

d) Lebar : 0,15 m

e) Tinggi : 1 m

Jumlah : 1

10) *Cold Basin*

Fungsi : Menampung air dingin hasil kondensasi dari *cooling tower* dan menerima make up water dari tangki *desalinated water* untuk menggantikan air yang hilang karena *evaporasi, blowdown,* dan *drift loss*.

Jenis : Bak Beton Persegi Panjang

Material : Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)

Waktu Tinggal : 10 menit

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Volume : 0,09 m^3

b) Luas Permukaan : 0,03 m^2

c) Panjang : 0,27 m

d) Lebar : 0,14 m

e) Tinggi : 1,5 m

Jumlah : 1

11) *Cooling Tower*

Fungsi : Mendinginkan kembali air pendingin dari alat proses yang semula memiliki suhu 55C menjadi 30C

Jenis : *Induced Draft Cooling Tower*

Material : *Stainless Steel SA 283 Grade C*

Make Up Water : 18,17 kg/jam

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 55 C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Luas Penampang : 0,17 m^2

b) Tinggi *Packing* : 7,62 m

c) Kapasitas *Fan* : 1.489,83 m^2/jam

d) Daya : 0,13 Hp

Jumlah : 1

12) *Kation Exchanger*

Fungsi : Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ion positif

Jenis : Tangki Silinder Tegak

Material : *Carbon Steel SA 283 Grade C*

Volume Resin : 81.291,44 m^3/jam

Regenerasi H2SO4 : 2,70 kg/minggu

Kondisi Operasi :

a) Suhu : 30 C

b) Tekanan : 1 atm

Spesifikasi :

a) Diameter : 1,0591 m

b) Volume Tangki : 1,86 m^3

c) Tebal Shell : 0,19 in

d) Tinggi : 1,06 m

Jumlah : 1

13) *Anion Exchanger*

Fungsi	: Menghilangkan kadar mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ion-ion negatif
Jenis	: Tangki Silinder Tegak
Material	: *Carbon Steel SA 283 Grade C*
Volume Resin	: 6,61 m^3
Regenerasi NaOH	: 0,15 kg/jam
Kondisi Operasi	:
a) Suhu	: 30C
b) Tekanan	: 1 atm
Spesifikasi	:
a) Diameter	: 1,61 m
b) Volume Tangki	: 321,89 ft^3
c) Tebal Shell	: 0,19 in
d) Tinggi	: 1,61 m
Jumlah	: 1

14) Deaerator

Fungsi	: Menghilangkan gas-gas terlarut (terutama O_2 dan CO_2) dari air boiler dan meningkatkan suhu air mendekati suhu saturasi, sehingga beban termal boiler berkurang
Jenis	: *Spray Cum Tray*

Material	: *Carbon Steel SA 283 Grade C*
Volume Tangki	: 8,60 m^3
Kondisi Operasi	:
a) Suhu	: 50 C
b) Tekanan	: 1 atm
Spesifikasi	:
a) Diameter	: 1,76 m
b) Kebutuhan *steam*	: 251,38 kg/jam
c) Kebutuhan *Hydrazine*	: 0,07 kg/jam
d) Kebutuhan Na_2HPO_4	: 4 kg/jam
e) Tipe Bahan Isian	: *Rashing ring ceramic*
Jumlah	: 1

a. Alat Penyimpanan

Tabel 5. 5 Spesifikasi Alat Penyimpanan

Tangki	TPU-01	TPU-02	TPU-03	TPU-04	TPU-05
Fungsi	Menstabilkan aliran dan tekanan air sebelum didistribusikan ke unit-unit proses	Menyediakan pasokan air darurat untuk sistem pemadam kebakaran	Menyimpan air bersih dari tangki *desalinated water* yang akan digunakan untuk keperluan umum	Penampung sementara air hasil deaerator sebelum dipompa ke boiler	Penampungan sementara *steam* hasil reaktor sebelum dipompa ke *heat exchanger*
Lama Penyimpanan	6 jam	1 jam	1 Jam	1 Jam	1 Jam
Fasa	Cair	Cair	Cair	Cair	Gas
Jumlah Tangki	1	1	1	1	1
Jenis Tangki	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*
Kondisi Operasi	30 C 1 atm	30 C 1 atm	30 C 1 atm	30 C 56 atm	271 C 56 atm
Spesifikasi	Bahan Konstruksi: *Carbon Steel SA 283 Grade C* Volume tangki: 19,64 m^3 Diameter: 3,048 m Tinggi: 4,21 m Jumlah *Course:2* Tebal *Shell* (in) 0,38; 0,44:	Bahan Konstruksi: *Carbon Steel SA 283 Grade C* Volume tangki: 0,35 m3 Diameter: 3,05 m Tinggi: 2,38 m Jumlah *Course* :1 Tebal *Shell* (in) 0,25 in	Bahan Konstruksi: *Carbon Steel SA 283 Grade C* Volume tangki: 1,74 m^3 Diameter: 3,05 m Tinggi: 2,38m Jumlah *Course* :1 Tebal Shell (in) 0,25 in	Bahan Konstruksi: *Carbon Steel SA 283 Grade C* Volume tangki: 7,46 m^3 Diameter: 3,05 m Tinggi: 2,38 m Jumlah *Course* :1 Tebal Shell (in) 0,375 in	Bahan Konstruksi: Carbon Steel SA 283 Grade C Volume tangki: 664,42 m^3 Diameter: 6,56 m Tinggi: 19,68 m
Head & Bottom	*Conical Roof* Tebal *Head*: 0,1875 in *Flat Bottom*: 0,1875 in	*Conical Roof* Tebal *Head*: 0,1875 in *Flat Bottom*: 0,1875 in	*Conical Roof* Tebal *Head*: 0,1875 in	*Conical Roof* Tebal *Head*: 3 in	*Conical Roof* Tebal *Head*: 3 in *Flat Bottom*: 0,625 in

Tangki	TPU-01	TPU-02	TPU-03	TPU-04	TPU-05
			Flat Bottom: 0,1875 in	*Flat Bottom*: 0,625 in	
Harga (Rupiah)					

b. Alat Transportasi

Tabel 5. 6 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 1

Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Fungsi	Mengalirkan air yang telah melalui proses *screening* ke unit pengolahan	Mengalirkan air baku dari kolam ekualisasi menuju *premix tank*	Mengalirkan air baku dari *clarifier* ke *sand filter*	Mengalirkan air baku dari *sand filter* ke *carbon filter*
Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
Kapasitas	11,51 m^3/jam	11,51 m^3/jam	10,93 m^3/jam	10,93 m^3/jam
Total Head	10,27 m	4,74 m	7,74 m	10.57 m
Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
Instalasi	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*
Submersibility	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*
Jenis Pompa	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*
Densitas	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
Daya motor	7,5 Hp	3 Hp	5 Hp	7 Hp
Material construction	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*

Tabel 5. 7 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 2

Alat	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Fungsi	Mengalirkan air baku dari *carbon filter* ke unit SWRO	Mengalirkan air baku dari unit SWRO ke unit BWRO	Mengalirkan air baku dari tangki *desalinated water* tangki pemadaman	Mengalirkan air baku dari tangki *desalinated water* ke tangki sanitasi
Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
Kapasitas	10,94 m^3/jam	4,92 m^3/jam	0,35 m^3/jam	1,74 m^3/jam
Total Head	9,11 m	8,38 m	10,16 m	3,41 m
Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
Instalasi	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*
Submersibility	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*
Jenis Pompa	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*
Densitas	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
Daya motor	3 Hp	2 Hp	0,17 Hp	1 Hp
Material construction	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*

Tabel 5. 8 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 3

Alat	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Fungsi	Mengalirkan air pendingin masuk ke *cold basin*	Mengalirkan air dari *hot basin* ke *cooling tower*	Mengalirkan air dari bak penampung *cooling tower* ke *cold basin*	Mengalirkan air dari *cold basin* ke unit proses
Viskositas	0,82 Cp	0,51 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
Kapasitas	0,02 m^3/jam	0,68 m^3/jam	0,64 m^3/jam	0,66 m^3/jam

Alat	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12
Total Head	0,74 m	12,54 m	7,36 m	8,13 m
Suhu Fluida	30 C	55 C	30 C	30 C
Instalasi	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*
Submersibility	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*
Jenis Pompa	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*
Densitas	1.022,88 kg/m^3	99,57 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1022,88 kg/m^3
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
Daya motor	0,05 Hp	1 Hp	1 Hp	1 Hp
Material construction	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*

Tabel 5. 9 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan 4

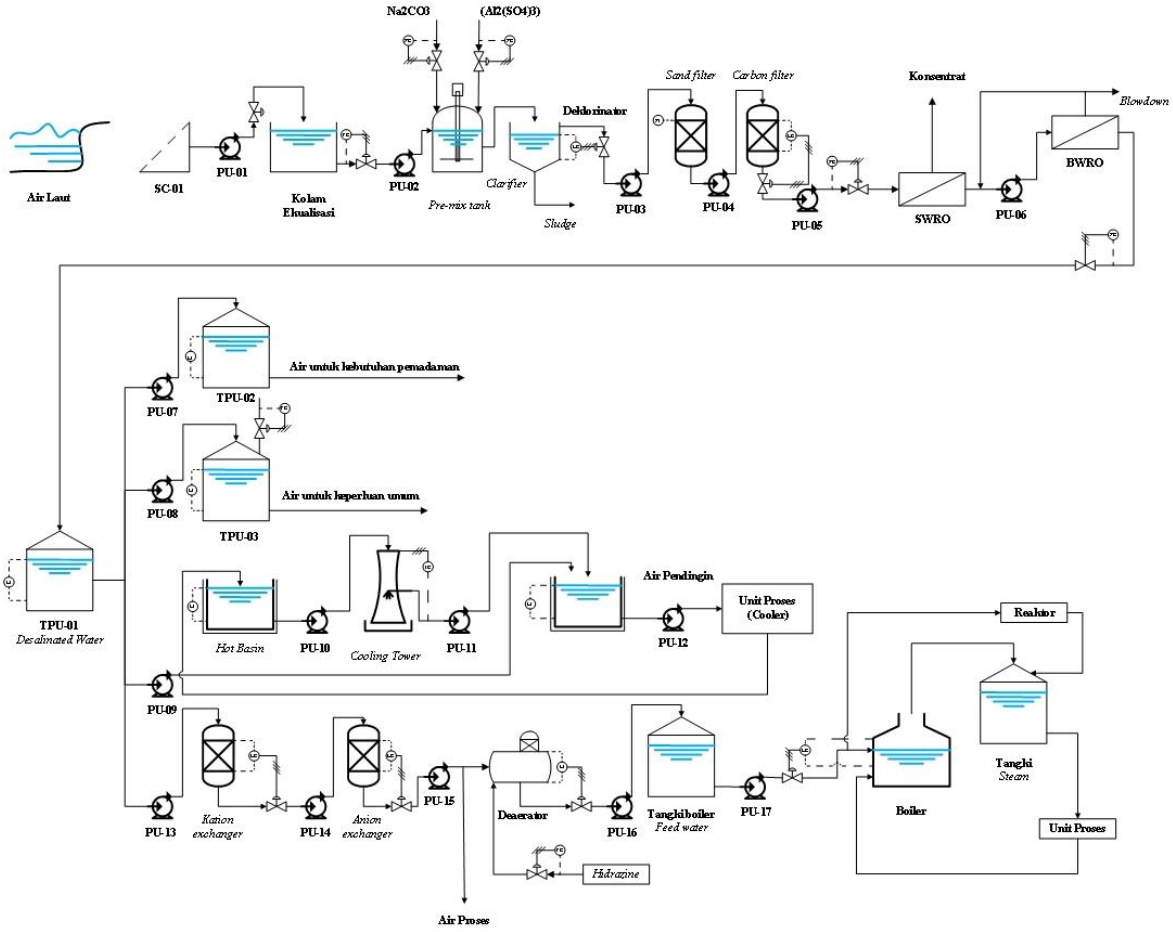
Alat	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Fungsi	Mengalirkan air dari tangki *desalinated water* ke *cation exchanger*	Mengalirkan air dari *cation exchange* ke *anion exchanger*	Mengalirkan air dari *anion exchanger* ke deaerator	Mengalirkan air dari deaerator ke tangki boiler *feed water*
Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
Kapasitas	1,82 m^3/jam	1,82 m^3/jam	1,82 m^3/jam	7,82 m^3/jam
Total Head	7,58 m	8,12 m	7,50 m	6,25 m
Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
Instalasi	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*	*Vertikal*
Submersibility	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*
Jenis Pompa	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*
Densitas	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	56 atm

Alat	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
Daya motor	2 Hp	2 Hp	2 Hp	3 Hp
Material construction	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*	*Commercial steel*

Tabel 5. 10 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Bagian 5

Alat	PU-17
Jenis	*Centrifugal Pump*
Fungsi	Mengalirkan air dari tangki boiler *feed water* ke boiler
Viskositas	0,82 Cp
Kapasitas	7,04 m^3/jam
Total *Head*	7,16 m
Suhu Fluida	30 C
Instalasi	*Vertikal*
Submersibility	*Dry*
Jenis Pompa	DP, Pompa *Sentrifugal Single Stage*
Densitas	1022,8753 kg/m3
Tekanan	56 atm
Daya motor	5 Hp
Material construction	*Commercial steel*

5.1.5. Diagram Unit Pengolahan Air



Gambar 5. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air

5.2. Unit Pembangkit *Steam*

Unit ini berfungsi menyediakan uap yang dibutuhkan selama proses produksi dengan menggunakan peralatan berupa ketel uap (boiler) sesuai spesifikasi tertentu:

Kapasitas : 6000 kg/jam

Jumlah : 1

Sebelum dialirkan ke boiler, air umpan harus melalui tahap pengolahan terlebih dahulu untuk menghilangkan kontaminan seperti ion kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), oksigen terlarut (O_2), dan silika. Proses pengolahan ini telah dijelaskan pada subbab sebelumnya yang membahas unit penyedia air, mencakup tahapan filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi.

Untuk meningkatkan efisiensi termal serta memaksimalkan pemanfaatan sisa energi dari steam, pabrik ini menerapkan sistem daur ulang uap. Mekanisme daur ulang yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. *Steam Saturated* pada suhu 295C dan tekanan 63 bar digunakan di *Vaporizer* (VP-01), *Heater* (HE-01), dan *Heater* (HE-02)
b. Setelah melewati alat proses, sebagian energi steam diserap, sehingga steam mengalami kondensasi (menjadi cair).
c. Kondensat ini dialirkan ke flash tank, di mana tekanan dan suhu diturunkan
d. Setelah digunakan kembali, uap didaur ulang menuju deaerator, lalu masuk kembali ke sistem sebagai air umpan boiler, membentuk siklus tertutup.

5.3. Unit Pembangkit Listrik

Unit pembangkit listrik memiliki peran penting dalam menjamin pasokan energi listrik yang stabil, berkelanjutan, dan mencukupi bagi seluruh kegiatan operasional di pabrik formaldehid berbasis metanol. Listrik sangat vital dalam mendukung kinerja peralatan utama proses, sistem kontrol otomatis, unit utilitas, serta berbagai fasilitas pendukung seperti penerangan, ruang kerja, laboratorium, dan hunian bagi karyawan *shift.*

Pasokan listrik pada pabrik Formaldehid ini bersumber dari dua sistem, yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator diesel. Keunggulan pasokan listrik dari PLN adalah biaya operasional yang lebih rendah, namun keberlanjutan dan kestabilan daya sering kali tidak dapat dijamin. Oleh karena itu, generator diesel digunakan sebagai sumber cadangan untuk memastikan ketersediaan listrik tetap terjaga, terutama dalam kondisi gangguan pada jaringan PLN. Generator ini berperan penting dalam mengoperasikan alat-alat penting seperti pompa, kompresor, dan sistem instrumentasi.

Generator diesel bekerja dengan menggunakan bahan bakar solar yang dicampur dengan udara, lalu dikompresi di dalam mesin untuk menghasilkan panas. Energi panas ini kemudian diubah menjadi tenaga mekanik yang memutar poros engkol, dan akhirnya dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Listrik dari PLN digunakan untuk mencukupi seluruh kebutuhan listrik selama operasi normal, sedangkan listrik dari generator diesel akan menjadi sumber utama saat terjadi pemadaman, terutama untuk keperluan penerangan dan pengoperasian unit proses.

Generator yang digunakan dalam pabrik ini memakai bahan bakar solar CN53 dan memiliki kapasitas sebesar 1.275,59 kW, dengan tingkat efisiensi operasional sekitar 99%. Kapasitas tersebut lebih tinggi dari kebutuhan utama sebesar 1.262,84 kW, guna mengakomodasi desain cadangan (*overdesign*) dan menjamin keandalan sistem saat kondisi darurat.

Tabel 5. 11 Spesifikasi Generator Listrik

Parameter	Nilai
Kapasitas Generator	87,83 kW
Efisiensi	99%
Jenis Bahan Bakar	Solar CN 53
Kebutuhan Listrik	86,95 kW
Sumber Listrik Utama	PLN (Indonesia Power)
Sumber Listrik Cadangan	*Generator Diesel*

Kebutuhan listrik yang harus disuplai untuk pabrik formaldehid terbagi menjadi beberapa bagian di antaranya:

a. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5. 12 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No	Alat	Daya	
		Hp	Watt
1	Pompa (P-01)	0,13	93,25
2	Pompa (P-02)	0,05	37,3
3	Pompa (P-03)	0,08	62,14
4	Pompa (P-04)	0,08	62,14
5	Pompa (P-05)	0,125	93,25
6	Blower (BL-01)	0,08	62,14
7	Blower (BL-02)	0,08	62,14
8	Blower (BL-03)	0,13	93,25

No	Alat	Daya	
		Hp	Watt
9	Blower (BL-04)	0,08	62,14
10	Blower (BL-05)	0,25	186,5
11	Blower (BL-06)	0,25	186,5
12	Blower (BL-07)	0,125	93,25
13	Blower (BL-08)	0,125	93,25
Total		1,59	1.187,26

b. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Utilitas

Tabel 5. 13 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

No	Alat	Daya	
		Hp	Watt
1	Pompa Utilitas (PU-01)	7,5	5.595
2	Pompa Utilitas (PU-02)	3	2.238
3	Pompa Utilitas (PU-03)	5	3.730
4	Pompa Utilitas (PU-04)	7	5.222
5	Pompa Utilitas (PU-05)	3	2.238
6	Pompa Utilitas (PU-06)	2	1.492
7	Pompa Utilitas (PU-07)	0,17	124,33
8	Pompa Utilitas (PU-08)	1	746
9	Pompa Utilitas (PU-09)	0,05	37,3
10	Pompa Utilitas (PU-10)	1	746
11	Pompa Utilitas (PU-11)	1	746
12	Pompa Utilitas (PU-12)	1	746
13	Pompa Utilitas (PU-13)	2	1.492
14	Pompa Utilitas (PU-14)	2	1.492
15	Pompa Utilitas (PU-15)	2	1.492
16	Pompa Utilitas (PU-16)	3	2.238

No	Alat	Daya	
		Hp	Watt
17	Pompa Utilitas (PU-17)	5	3.730
18	Cooling Tower	0,13	93,25
19	Pre-Mix Tank	0,08	62,17
20	Kompresor Udara Tekan	0,75	559,5
	Total	46,68	34.819,55

c. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

Daya listrik yang dialokasikan untuk sistem alat kontrol diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan listrik motor penggerak, yaitu sekitar 9,90 kW. Estimasi ini mencakup kebutuhan energi untuk menjalankan berbagai perangkat kontrol dan instrumentasi, seperti sensor, aktuator, sistem otomasi, dan panel kontrol, yang berperan penting dalam menjaga kestabilan dan keamanan operasi proses pabrik.

d. Kebutuhan Listrik Perumahan

Daya listrik yang dialokasikan untuk area perumahan pabrik mencakup kebutuhan listrik masing-masing rumah serta fasilitas lingkungan di sekitarnya. Setiap unit rumah diperkirakan memerlukan daya sebesar 900 watt, sehingga untuk total 23 rumah, kebutuhan listrik mencapai sekitar 20,7 kW. Estimasi ini mencakup pemakaian listrik untuk peralatan rumah tangga dasar dan pencahayaan, guna menunjang kenyamanan tempat tinggal bagi karyawan pabrik.

e. Kebutuhan Listrik Umum dan Laboratorium

Daya listrik yang disuplai akan digunakan untuk menunjang operasional berbagai fasilitas penunjang pabrik, seperti bengkel, laboratorium, unit pemadam

kebakaran, poliklinik, kantin, mushola, dan taman. Estimasi kebutuhan listrik untuk seluruh fasilitas ini diperkirakan mencapai 15% dari total kebutuhan listrik untuk penggerak motor, yaitu sekitar 5,94 kW. Distribusi energi ini penting untuk memastikan seluruh fasilitas penunjang dapat berfungsi optimal guna mendukung kelancaran aktivitas produksi dan kesejahteraan karyawan.

f. Kebutuhan Listrik Penerangan

Kebutuhan listrik untuk penerangan area pabrik dan sekitarnya diperkirakan mencapai 15% dari total daya listrik yang digunakan untuk penggerak motor, yaitu sebesar 5,94 kW. Daya ini digunakan untuk memastikan pencahayaan yang memadai di seluruh area operasional pabrik, baik di dalam bangunan maupun di area luar, guna mendukung keamanan dan kelancaran aktivitas selama 24 jam operasional.

g. Kebutuhan Kantor dan Elektronik

Kebutuhan listrik untuk area perkantoran mencakup konsumsi daya dari perangkat seperti AC, komputer, monitor, dan perlengkapan elektronik lainnya yang mendukung aktivitas administrasi dan manajerial. Estimasi suplai listrik yang dibutuhkan untuk keperluan ini adalah sekitar 10% dari total daya listrik untuk penggerak motor, yaitu sebesar 3,96 kW. Penyediaan daya ini penting agar operasional kantor berjalan lancar dan produktif.

Dengan adanya sistem suplai listrik utama dari PLN dan cadangan dari generator diesel, kebutuhan energi listrik pabrik formaldehid dapat dipenuhi secara konsisten, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan pasokan. Kombinasi ini menjamin kontinuitas operasi proses produksi dan seluruh fasilitas

penunjang di lingkungan pabrik. Rincian total kebutuhan listrik untuk masing-masing unit dan fasilitas pabrik disusun secara terperinci dalam tabel berikut sebagai dasar perhitungan dan evaluasi sistem kelistrikan.

Tabel 5. 14 Total Kebutuhan Listrik

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	*Power Plant* dan Utilitas	39,61
2	Alat Kontrol	9,90
3	Penerangan	5,94
4	Peralatan Kantor	3,96
5	Bengkel, Laboratorium	5,94
6	Perumahan	20,7
	Total	86,05

5.4. Unit Penyedia Udara Tekan

Unit penyedia udara tekan berperan penting dalam menjamin ketersediaan suplai udara bertekanan yang diperlukan untuk mendukung pengoperasian sistem kontrol dan instrumen pneumatik di seluruh pabrik. Udara tekan ini digunakan untuk menggerakkan peralatan seperti *valve*, aktuator, dan perangkat kontrol otomatis lainnya yang bekerja berdasarkan tekanan. Stabilitas dan keandalan proses sangat bergantung pada kinerja sistem ini. Dalam perancangan pabrik formaldehid, kebutuhan udara tekan dihitung untuk mencukupi 32 alat kontrol pada proses utama serta 15 alat kontrol pada sistem utilitas, dengan total kebutuhan udara tekan sebesar 59,81 m^3/jam.

5.5. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar memiliki peran penting dalam menjamin kelangsungan operasional pabrik formaldehid dengan memastikan ketersediaan

bahan bakar untuk peralatan utama yang membutuhkannya. Dua unit utama yang menggunakan bahan bakar dalam sistem ini adalah boiler, yang menghasilkan steam sebagai media pemanas proses, serta generator, yang berfungsi sebagai sumber listrik cadangan apabila pasokan listrik dari PLN terganggu.

Jenis bahan bakar yang digunakan meliputi solar CN53 (*Cetane Number 53*) dan fuel oil. Solar CN53 dipilih untuk generator karena memiliki keunggulan seperti waktu *start-up* yang cepat, efisiensi pembakaran yang tinggi, stabilitas terhadap perubahan suhu, serta emisi karbon hitam yang rendah. Karakteristik ini membuatnya sangat sesuai untuk kebutuhan industri yang mengandalkan kestabilan dan efisiensi pembakaran. Sementara itu, fuel oil digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler dan furnace dalam sistem pemanas pabrik.

Unit ini bertanggung jawab penuh dalam pengadaan, penyimpanan, dan distribusi bahan bakar ke seluruh unit yang memerlukannya secara aman dan efisien, guna mendukung kontinuitas produksi serta menjamin kinerja peralatan selama operasional berlangsung.

Tabel 5. 15 Kebutuhan Bahan Bakar

Unit Pengguna	Konsumsi Solar CN53 (kg/jam)
Boiler	453,96
Generator	7,48
Total	**461,44**

5.6. Unit Pengolahan Limbah

Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi, kegiatan karyawan, dan unit utilitas di pabrik urea formaldehid harus melalui tahap pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang agar tidak mencemari lingkungan. Sumber limbah cair ini

meliputi aktivitas di laboratorium, fasilitas umum, area proses produksi, kantor, serta kawasan perumahan. Pengolahan limbah dilakukan untuk memastikan bahwa air limbah yang dihasilkan memenuhi standar kualitas lingkungan yang ditetapkan, sehingga aman bagi lingkungan sekitar dan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem maupun kesehatan masyarakat.

1. Limbah laboratorium diolah dengan proses *physical treatment* (proses pengendapan dan pernyaringan), *chemical treatment* (penambahan bahan kimia, pengontrol pH) dan *biological treatment.*
2. Air buangan domestik dari perkantoran dan perumahan akan dikumpulkan dahulu ke dalam satu bak khusus yang kemudian akan diolah dalam unit stabilisasi. Pada unit tersebut, air akan ditambahkan lumpur aktif yang bertindak sebagai desinfektan, aerasi dan injeksi gas klorin yang akan membunuh mikroorganisme yang terkandung dalam air.

BAB VI EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi dalam perancangan pabrik bertujuan untuk menilai apakah investasi yang dilakukan layak secara finansial dan mampu menghasilkan keuntungan. Penilaian ini mempertimbangkan besarnya modal yang dibutuhkan, waktu pengembalian investasi, serta titik impas (*break even point*) antara biaya produksi dan pendapatan. Beberapa faktor utama yang dianalisis dalam evaluasi ekonomi meliputi:

1. *Return On Investment* (ROI)

Return on Investment merupakan estimasi tingkat keuntungan tahunan yang diperoleh guna mengembalikan dana yang telah diinvestasikan.

2. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time adalah perkiraan jumlah tahun yang dibutuhkan hingga penerimaan kumulatif setara atau melebihi investasi awal, atau dengan kata lain, waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi melalui keuntungan kotor sebelum dikurangi beban lainnya.

3. *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point merupakan kondisi di mana jumlah pendapatan yang diperoleh dari penjualan sama dengan total biaya yang dikeluarkan, sehingga pada titik ini perusahaan belum menghasilkan laba maupun mengalami kerugian.

4. *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point merupakan kondisi atau waktu di mana kegiatan produksi harus dihentikan karena tidak lagi menguntungkan. Hal ini dapat disebabkan oleh

meningkatnya biaya variabel yang melebihi pendapatan, atau keputusan manajerial karena aktivitas produksi dianggap tidak layak secara ekonomi.

5. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR)

Discounted cash flow adalah metode untuk memperkirakan keuntungan tahunan berdasarkan nilai investasi yang belum kembali selama masa operasional pabrik. Sedangkan *rate of return based on discounted cash flow* merupakan tingkat suku bunga maksimum yang masih memungkinkan suatu proyek atau pabrik untuk melunasi pinjaman beserta bunganya kepada pihak pemberi pinjaman selama umur ekonomis pabrik.

Namun, ada beberapa hal yang perlu diperkirakan sebelum melakukan analisis terhadap kelima faktor diatas, seperti:

a. Penentuan Modal Industri (*Fixed Capital Investment*), yang meliputi:

1) Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
2) Modal Kerja (*Working Capital Investment*)

b. Penentuan Total Biaya Produksi (*Total Production Cost*), yang meliputi:

1) Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
2) Biaya Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

c. Pendapatan Modal

1) Biaya tetap per tahun (*Fixed Cost Annual*)
2) Biaya Variabel per tahun (*Variabel Cost Annual*)
3) Biaya Mengambang (*Regulated Cost Annual*)

6.1. Penaksiran Harga Alat

Kondisi ekonomi saat pembelian peralatan sangat berpengaruh terhadap harga alat tersebut. Artinya, harga alat tidak bersifat tetap dan dapat berubah naik atau turun tergantung pada situasi ekonomi saat pembelian dilakukan. Untuk memperkirakan harga alat pada tahun tertentu, diperlukan data indeks harga peralatan pada tahun tersebut.

Dalam analisis ekonomi ini, perhitungan dilakukan berdasarkan tahun analisis, yaitu tahun 2029. Oleh karena itu, untuk mengetahui harga alat pada tahun 2029, terlebih dahulu dicari nilai indeks harga dengan menggunakan persamaan regresi linier berdasarkan data indeks dari tahun 1996 hingga tahun 2029.

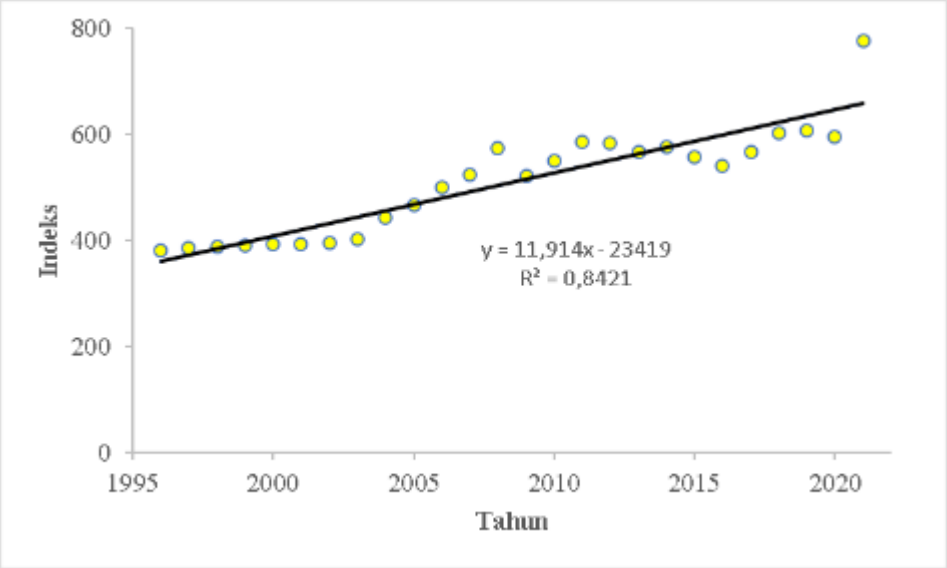
Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat

No	Tahun (x)	Indeks (y)
1	1996	381,7
2	1997	386,5
3	1998	389,5
4	1999	390,6
5	2000	394,1
6	2001	394,3
7	2002	395,6
8	2003	402
9	2004	444,2

No	Tahun (x)	Indeks (y)
10	2005	468,2
12	2006	499,6
13	2007	525,4
14	2008	575,4
15	2009	521,9
16	2010	550,8
17	2011	585,7
18	2012	584,6
19	2013	567,3
20	2014	576,1
21	2015	556,8
22	2016	541,7
23	2017	567,5
24	2018	603,1
25	2019	607,5
26	2020	596,2
27	2021	776,3
28	2022	671,10

No	Tahun (x)	Indeks (y)
29	2023	683,02
30	2024	694,94
31	2025	706,85
32	2026	718,764
33	2027	730,68
34	2028	742,59
35	2029	754,51
36	2030	766,42
37	2031	778,334
38	2032	790,29
39	2033	802,16
40	2034	814,08

Dari data yang ada di atas, dibuat persamaan regresi linier yang nilainya adalah y = 11,914x - 23419. Pabrik Formalin 37% akan didirikan pada tahun 2029 dengan kapasitas 15.000 ton/tahun, berikut grafik linieritas indeks harga:



Gambar 6. 1 Grafik Regeresi Linear dari Indeks Harga Alat

Data dari grafik diatas menunjukkan persamaan regresi linier yaitu y = 11,914x - 23419. Pabrik Formalin direncanakan akan didirikan pada tahun 2029 dengan kapasitas 15.000 ton/tahun. Indeks pada tahun 2029 dapat diperoleh dari persamaan regresi linier yang nilainya sebesar 754,506. Untuk harga alat dihitung dengan referensi Aries & Newton (1955) dan Ulrich (1990). Harga dihitung pada tahun evaluasi (2029) dengan persamaan:

$$Cx = \frac{Nx \times Cy}{Ny}$$

Keterangan:

Cx : Harga pembelian pada tahun 2029

Cy : Harga pembelian pada tahun referensi 2014

Nx : Indeks harga pada tahun 2029

Ny : Indeks harga pada tahun referensi 2014

6.2. Dasar Perhitungan

Dasar-dasar perhitungan ekonomi dalam studi ini meliputi parameter-parameter sebagai berikut:

1) Kapasitas produksi = 15.000ton/tahun
2) Satu tahun beroperasi = 330 hari
3) Tahun pendirian = 2029
4) Kurs mata uang = 1US= Rp.16.179,80 929/06/2025)

6.3. Perhitungan Biaya

6.3.1. Total Capital Investment

a. *Fixed Capital Investment*

Biaya yang dibutuhkan untuk mendirikan fasilitas yang ada di dalam pabrik.

b. *Working Capital Investment*

Biaya yang diperlukan sebagai modal supaya proses dapat berjalan sesuai dengan target di waktu tertentu.

6.3.2. Manufacturing Cost

Manufacturing Cost adalah total keseluruhan dari *Direct, Indirect*, dan *Fixed Manufacturing Cost* yang berkaitan dengan pembuatan produk. Menurut Aries and Newton, 1955 *Manufacturing Cost* terdapat beberapa hal, yaitu:

a. *Direct Cost*

Direct Cost adalah pengeluaran yang secara langsung berkaitan dengan proses pembuatan produk

b. *Indirect Cost*

Indirect Cost adalah pengeluaran yang mencakup tidak secara langsung berhubungan dengan operasional produksi, tetapi tetap diperlukan dalam mendukung aktivutas pabrik.

c. *Fixed Cost*

Fixed Cost adalah pengeluaran yang harus dibayarkan secara rutin, baik saat pabrik sedang beroperasi maupun tidak beroperasi, dan tidak dipengaruhi oleh lamanya waktu operasional.

6.3.3. General Expense

Pengeluaran umum (*General Expense*) mencakup biaya-biaya yang berkaitan dengan operasional perusahaan secara keseluruhan namun tidak termasuk dalam kategori biaya produksi (*Manufacturing Cost*).

6.4. Analisa Kekayaan

Evaluasi kelayakan dilakukan untuk menilai apakah proyek pembangunan pabrik formaldehid dari metanol dapat direalisasikan secara finansial. Penilaian ini menggunakan berbagai parameter ekonomi utama yang menunjukkan potensi keuntungan, efisiensi dalam pengembalian investasi, serta ketahanan pabrik dalam menghadapi kondisi pasar yang kurang menguntungkan. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis ini meliputi:

a. *Return On Investment* (ROI)

Return On Investment (ROI) adalah ukuran tingkat keuntungan yang diperoleh dari investasi yang telah dilakukan. ROI dihitung menggunakan rumus berikut:

$$ROI = \frac{keuntungan}{Fixed\ Capital} \times 100\%$$

b. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time adalah lamanya waktu, dalam hitungan tahun, yang dibutuhkan hingga pendapatan yang diperoleh melebihi jumlah investasi awal, atau periode yang diperlukan untuk mengembalikan investasi modal melalui keuntungan kotor (sebelum depresiasi).

- Jumlah tahun yang dibutuhkan untuk mengembalikan *capital investment* dengan profit yang belum dikurangi dengan depresiasi.
- Waktu minimum yang diperlukan untuk mengembalikan modal tetap yang tertanamkan atas dasar penjumlahan antara keuntungan per tahun dan penyusutan.
- Waktu pengembalian modal dari hasil keuntungan. Tujuan dari perhitungan ini untuk mengetahui berapa lama dana investasi akan kembali.

$$POT = \frac{Fixed\ Capital}{Keuntungan + Depresiasi} \times 100\%$$

c. *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point adalah titik keseimbangan dalam produksi di mana total biaya yang dikeluarkan sama dengan total pendapatan yang diperoleh. Pada kondisi ini, pabrik tidak mengalami laba maupun rugi. Jika operasional pabrik berada di atas titik BEP, maka pabrik akan mendapatkan keuntungan, sedangkan jika berada di bawahnya, maka pabrik akan mengalami kerugian.

- Titik impas produksi adalah keadaan di mana pabrik tidak memperoleh keuntungan maupun mengalami kerugian.
- Titik ini menunjukkan tingkat kesetaraan antara total biaya dan pendapatan. Melalui analisis BEP, kita dapat mengetahui harga jual minimum, jumlah unit minimum yang harus dijual, serta target harga dan volume penjualan yang diperlukan untuk mencapai keuntungan.
- BEP terjadi pada kapasitas produksi ketika total pendapatan sama dengan total biaya. Jika pabrik beroperasi di bawah kapasitas ini, maka akan mengalami kerugian, sementara jika di atasnya, pabrik akan mendapatkan laba.

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

Nilai BEP pada umumnya memiliki nilai berkisar 40%-60%.

d. *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point merupakan titik keputusan untuk menghentikan kegiatan operasional pabrik atau proses produksi. Keputusan ini biasanya diambil apabila biaya variabel terlalu tinggi atau terdapat faktor lain, seperti manajemen yang tidak efektif, sehingga pabrik tidak mampu menghasilkan keuntungan.

- Momen atau kondisi ketika produksi harus dihentikan, biasanya disebabkan oleh tingginya biaya variabel atau keputusan manajerial karena aktivitas produksi dianggap tidak lagi menguntungkan.
- Menggambarkan persentase kapasitas minimum yang harus dicapai oleh pabrik dalam satu tahun. Jika pabrik gagal memenuhi kapasitas minimum tersebut, maka operasional harus dihentikan.

- Titik di mana melanjutkan operasional pabrik menjadi lebih mahal dibandingkan menutup pabrik dan hanya menanggung biaya tetap.
- kondisi saat produksi mencapai titik kerugian ekstrem (bangkrut), sehingga pabrik terpaksa berhenti beroperasi.

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

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

Discounted Cash Flow Rate of Return adalah nilai perkiraan profit yang dihasilkan dalam setiap tahun, berdasar dari investasi yang tidak kembali selama umur pabrik. DCFR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$DCFR = -FC - WC + \sum_{t=1}^{N} \frac{C}{(1+i)^2} + \frac{SV + WC}{(1+i)^n}$$

Dimana:

FC : *Fixed Capital*

WC : *Working Capital*

SV : *Salvage Value*

C : Cash Flow (Profit after taxes + Depresiasi + finance)

n : Umur pabrik = 10 tahun

i : Nilai DSCFR

6.5. Hasil Perhitungan

Perhitungan rencana pendirian pabrik Formalin memerlukan rencana *Physical Plant Cost*, *Fixed Capital Investment*, *Direct Manufacturing Cost*, *Indirect Manufacturing Cost*, *Fixed Manufacturing Cost*, *Total Manufacturing Cost*,

Working Capital serta General Expense. Hasil rancangan masing–masing disajikan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 6. 2 *Physical Plant Cost*

No	*Type of Capital Investment*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Purchased Equipment cost*	Rp42.354.352.509	2.610.045
2	*Delivered Equipment Cost*	Rp10.588.588.127	652.511
3	Instalasi cost	Rp6.112.727.620	376.691
4	Pemipaan	Rp16.094.653.953	991.817
5	Instrumentasi	Rp4.235.435.251	261.005
6	Insulasi	Rp3.388.348.201	208.804
7	Listrik	Rp4.235.435.251	261.005
8	Bangunan	Rp8.470.870.502	522.009
9	*Land & Yard Improvement*	Rp328.100.000	20.219
10	Service Facilities	Rp16.941.741.004	1.044.018
	Physical Plant Cost (PPC)	**Rp112.750.252.418**	**6.948.123**

Tabel 6. 3 *Direct Plant Cost*

No	*Type of Capital Investment*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	Teknik dan Konstruksi	Rp9.580.851.141	590.410,51
	Total (DPC + PPC)	**Rp122.331.103.559**	**7.538.533,71**

Tabel 6. 4 *Fixed Capital Investment* (FCI)

No	*Type of Capital Investment*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	Total DPC + PPC	Rp122.331.103.559	7.538.533,72
2	Kontraktor	Rp10.538.936.256	649.451,56
3	Biaya tak terduga	Rp5.269.468.128	324.725,78
	Fixed Capital Investment (FCI)	**Rp138.139.507.942**	**8.512.711,06**

Tabel 6. 5 *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Raw Material*	Rp31.661.453.600	Rp1.951.106
2	*Labor*	Rp12.314.400.000	Rp758.863
3	*Supervision*	Rp1.847.160.000	Rp113.829
4	*Maintenance*	Rp2.445.033.211	Rp150.673

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
5	*Plant Supplies*	Rp366.754.982	Rp22.601
6	*Royalty and Patents*	Rp62.723.846.927	Rp3.865.295
7	*Utilities*	Rp111.358.648.720	Rp6.862.367
Direct Manufacturing Cost (DMC)		**Rp222.717.297.439**	**Rp13.724.734**

Tabel 6. 6 *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Payroll Overhead*	Rp1.847.160.000	Rp113.829
2	*Laboratory*	Rp1.847.160.000	Rp113.829
3	*Plant Overhead*	Rp6.157.200.000	Rp379.431
4	*Packaging and Shipping*	Rp9.625.786.711	Rp593.180
Indirect Manufacturing Cost (IMC)		**Rp19.477.306.711**	**Rp1.200.270**

Tabel 6. 7 *Fixed Manufacturing Cost* (FMC)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Depreciation*	Rp9.780.132.845	Rp602.691
2	*Propertu taxes*	Rp1.222.516.606	Rp75.336
3	*Insurance*	Rp1.222.516.606	Rp75.336
Fixed Manufacturing Cost (FMC)		**Rp12.225.166.056**	**Rp753.364**

Tabel 6. 8 *Manufacturing Cost* (MC)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Direct Manufacturing Cost (DMC)*	Rp111.358.648.720	Rp6.862.367
2	*Indirect Manufacturing Cost (IMC)*	Rp19.477.306.711	Rp1.200.270
3	*Fixed Manufacturing Cost (FMC)*	Rp12.225.166.056	Rp753.364
Manufacturing Cost (MC)		**Rp143.061.121.487**	**Rp8.816.001**

Tabel 6. 9 *Working Capital*

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Raw Material Inventory*	Rp8.634.941.891	Rp532.120
2	*In Process Inventory*	Rp19.508.334.748	Rp1.202.182
3	*Product Inventory*	Rp39.016.669.497	Rp2.404.364
4	*Extended Credit*	Rp52.504.291.152	Rp3.235.525
5	*Available Cash*	Rp39.016.669.497	Rp2.404.364
Working Capital (WC)		**Rp158.680.906.784**	**Rp9.778.555**

Tabel 6. 10 *General Expense*

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Administration*	Rp2.861.222.430	Rp176.320
2	*Sales expense*	Rp11.444.889.719	Rp705.280
3	*Research*	Rp2.861.222.430	Rp176.320
4	*Finance*	Rp5.618.651.347	Rp346.244
	General Expense (GE)	**Rp22.785.985.925**	**Rp1.404.164**

Tabel 6. 11 *Total Production Cost* (TPC)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Manufacturing Cost (MC)*	Rp143.061.121.487	Rp8.816.001
2	*General Expense (GE)*	Rp22.785.985.925	Rp1.404.164
	Total Production Cost (TPC)	**Rp165.847.107.413**	**Rp10.220.165**

Tabel 6. 12 *FIxed Cost* (Fa)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Depreciation*	Rp9.780.132.845	Rp602.691
2	*Property taxes*	Rp1.222.516.606	Rp75.336
3	*Insurance*	Rp1.222.516.606	Rp75.336
	Fixed Cost (Fa)	**Rp12.225.166.056**	**Rp753.364**

Tabel 6. 13 *Variabel Cost* (Va)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	*Raw material*	Rp31.661.453.600	Rp1.951.106
2	*Packaging & shipping*	Rp9.625.786.711	Rp593.180
3	*Utilities*	Rp62.723.846.927	Rp3.865.295
4	*Royalties and Patents*	Rp104.011.087.238	Rp6.409.581
	Variable Cost (Va)	**Rp208.022.174.476**	**Rp12.819.162**

Tabel 6. 14 *Regulated Cost* (Ra)

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
1	Gaji Karyawan	Rp12.314.400.000	Rp758.863
2	Payroll Overhead	Rp1.847.160.000	Rp113.829
3	Supervision	Rp1.847.160.000	Rp113.829
4	Plant Overhead	Rp6.157.200.000	Rp379.431
5	Laboratorium	Rp1.847.160.000	Rp113.829

No	*Type of Expense*	Harga (Rp)	Harga ($)
6	General Expense	Rp22.785.985.925	Rp1.404.164
7	Maintenance	Rp2.445.033.211	Rp150.673
8	Plant Supplies	Rp366.754.982	Rp22.601
	Regulated Cost (Ra)	**Rp49.610.854.118**	**Rp3.057.220**

6.6. Analisa Keuntungan

Harga jual produk Formalin = Rp 37.000 /kg

Total penjualan = Rp 192.515.734.224 /tahun

Total Production cost = Rp 164.667.718.689

Keuntungan sebelum pajak = Rp 27.848.015.534

Rp Pajak = Rp 35 %

Keuntungan setelah pajak = Rp 18.101.210.097

6.7. Hasil Kelayakan Ekonomi

a. *Return On Investment* (ROI)

- ROI sebelum Pajak = 21,81%
- ROI sesudah pajak = 14,17 %

b. *Pay Out Time* (POT)

- POT sebelum pajak = 3,35 tahun
- POT sesudah pajak = 4,5 tahun

c. *Break Even Poimt* (BEP)

BEP = 50,41%

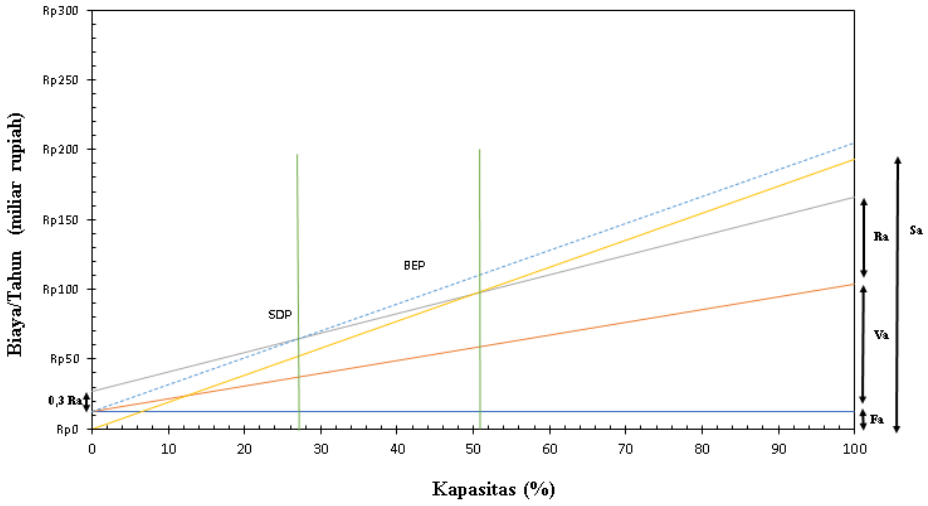
d. *Shut Down Point* (SDP)

SDP = 27,68%

e. ***Discounted Cash Flow Rate*** **(DCFR)**

- Umur pabrik = 10 tahun
- Fixed Capital Investment = Rp 122.251.660.564
- Working Capital = Rp 158.680.906.784
- Salvage Value (SV) = Rp 9.780.132.845
- Cash flow (CF) = Annual profit + depresiasi +finance

  = Rp 32.733.391.619
- *Discounted cash flow* di hitung secara trial & error R = S
- Dengan trial & error diperoleh nilai i = 0,1071
- DCFR = 10,71%



Gambar 6. 2 Grafik BEP dan SDP

6.8. Analisa Resiko

Tabel 6. 15 Analisis Resiko

No	Parameter Risiko	Deskripsi	*Risk*	
			Low	***High***
1.	**Kondisi Operasi**	Suhu paling tinggi: 275 ºC	✔	
		Tekanan: 1,5 atm	✔	
	Bahan baku yang digunakan			
2	Methanol	Toksisitas: sangat toxic		✔
		Explosion limits: lower 6%	✔	
		Flammability: mudah terbakar		✔
	Air	Stabilitas: stabil	✔	
		Toksisitas: tidak toxic	✔	
		Explosion limits: tidak mudah	✔	
		Flammability: tidak mudah	✔	
		Stabilitas: stabil	✔	
	Oksigen	Toksisitas: tidak toxic		✔
		Explosion limits: mendukung pembakaran		✔
		Flammability: oksidator kuat		✔
	Nitrogen	Stabilitas: stabil	✔	
		Toksisitas: tidak toxic	✔	
		Explosion limits: tidak mudah	✔	
		Flammability: tidak mudah	✔	
		Stabilitas: sangat stabil (inert)	✔	
	Katalis Fe-Mo-Oxide	Toksisitas: rendah	✔	
		Explosion limits: tidak mudah	✔	
		Flammability: tidak mudah	✔	
		Stabilitas: stabil pada suhu proses	✔	
	Sifat produk yang dihasilkan			
3.	Formaldehid	Toksisitas: sangat toxic		✔
		Explosion limits: 7–73%		✔
		Flammability: sangat mudah terbakar		✔
		Stabilitas: reaktif		✔
	Air	Toksisitas: tidak toxic	✔	
		Explosion limits: tidak mudah	✔	
		Flammability: tidak mudah	✔	
		Stabilitas: stabil	✔	
		Total	**21**	**9**

Berdasarkan hasil analisis risiko terhadap prarancangan pabrik formaldehid dengan bahan baku utama metanol dan udara, dapat disimpulkan bahwa proses ini memiliki kombinasi antara risiko rendah dan tinggi. Dari total 30 parameter risiko yang dianalisis, sebanyak 21 parameter tergolong dalam kategori risiko rendah, sedangkan 9 parameter masuk dalam kategori risiko tinggi. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar aspek proses tergolong aman, namun terdapat beberapa titik kritis yang perlu mendapat perhatian khusus, sehingga dapat simpulkan bahwa pabrik yang akan dibangun tergolong kedalam *low risk*.

6.9. Analisa Kelayakan

Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi terhadap prarancangan pabrik formaldehid dengan kategori risiko rendah, diperoleh bahwa proyek ini menunjukkan indikator finansial yang sangat positif dan memenuhi seluruh kriteria kelayakan investasi. *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak mencapai 21,81%, berada dalam rentang yang diharapkan yaitu antara 11% hingga 44%, menunjukkan bahwa tingkat pengembalian terhadap modal investasi cukup menguntungkan. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak tercatat sebesar 3,35 tahun, masih jauh di bawah batas maksimum lima tahun, yang menandakan bahwa modal dapat kembali dalam waktu yang relatif singkat. Selain itu, nilai *Break Even Point* (BEP) sebesar 50,41% juga masih dalam kisaran ideal, yaitu antara 40% hingga 60%, yang berarti perusahaan hanya perlu menjual sekitar setengah dari kapasitas produksinya untuk menutupi seluruh biaya operasional.

Selanjutnya, nilai *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFR) sebesar 10,71% berada di atas rata-rata suku bunga bank yang diasumsikan sebesar 7,25%. Ini menunjukkan bahwa secara finansial, proyek ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan menyimpan modal di lembaga keuangan konvensional. Dengan memperhitungkan seluruh indikator tersebut, dapat disimpulkan bahwa proyek pembangunan pabrik formaldehid ini secara ekonomi layak untuk direalisasikan, karena mampu memberikan keuntungan yang menarik dengan risiko yang dapat dikendalikan dan efisiensi pengembalian modal yang baik.

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan pabrik formaldehid dari metanol dengan kapasitas 15.000 ton/tahun, baik ditinjau dari segi teknis maupun ekonomi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik formaldehid dari metanol bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan menstabilkan pasokan dalam negeri, dapat membantu memenuhi kebutuhan industri secara lokal, sekaligus mengurangi defisit yang disebabkan oleh impor amil alkohol.
2. Pabrik Formaldehid ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dan direncanakan akan didirikan di daerah Bontang, Kalimantan Timur, dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku, utilitas yang memadai (air, listrik, uap), akses terhadap pelabuhan dan jalan utama, serta kedekatan dengan kawasan industri kimia lainnya.
3. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini tergolong layak untuk didirikan, dengan hasil perhitungan sebagai berikut:
   a. *Return on Investment* (ROI)
      1) ROI sebelum Pajak : 24,24 %
      2) ROI setelah Pajak : 15,76 %
   b. *Pay Out Time* (POT)
      1) POT sebelum pajak : 3,1 tahun
      2) POT setelah Pajak : 4,2 tahun

c. *Break Even Point* (BEP) : 48,51 %

   Masih dalam batas wajar BEP industri kimia, yaitu 40% - 60%

d. *Shut Down Point* (SDP) : 27,27 %

e. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFR) : 10,71%

f. Berdasarkan parameter-parameter kelayakan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik formaldehid dari metanol dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ini layak untuk dikaji lebih lanjut dari aspek teknis, ekonomi maupun lingkungan.

7.2. Saran

Perancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahan konsep dasar yang dapat meningkatkan kelayakan pabrik untuk didirikan diantaranya sebagai berikut:

1. Analisis kelayakan teknis dan ekonomi perlu dilakukan secara menyeluruh agar proses produksi yang dirancang tidak hanya berjalan efektif, tetapi juga mampu memberikan keuntungan yang optimal dalam jangka panjang.
2. Pemahaman terhadap keselamatan proses dan manajemen risiko sangat penting untuk memastikan operasional pabrik berlangsung aman, meminimalkan potensi kecelakaan kerja, serta memenuhi standar keselamatan industri yang berlaku.
3. Efisiensi energi dan pengelolaan dampak lingkungan harus menjadi pertimbangan utama dalam perancangan pabrik guna mendukung keberlanjutan operasional, mengurangi limbah, serta menjaga kepatuhan terhadap regulasi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Aries, R.. and N.R.D. (1955) *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: McGraw Hill Book Company Inc.

Badan Pusat Statistik, 2001-2005, Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia, Export-Import, Jakarta

Bedino, J. H. (2004). *Formalin Exposure Hazards and Health Effects: A Comprehensive Review for Embalmers. Research and Education Department, The Champion Company*, 2633-2649.

Brownell, L.E., and Young, E.H., 1959, *Process Equipment Design*, John Wiley and Sons, Inc., New York

Coulson, J.M., and Richardson, J.F., 1983, *Chemical Engineering*, Vol 1 $ 6, Pergamon International Library, New York

Faith, W.L., and Keyes, D.B., 1961, *Industrial chemical*, John Wiley and Sons, Inc., New York

Geankoplis, C.J., 1983, *Transport Processes and Unit Operations*, 2 nd ed., Allyn and Bacon Inc., Boston

Holman, J., 1981, *Heat Transfer,* McGrawHillBookCo., Inc.,NewYork

Idres, R. A. M. (2018). *Optimization of Formaldehyde Production from Methanol* (Master's thesis, Atilim University, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry). Atilim University Institutional Repository.

Kern, D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York

Kirk, R.E., and Othmer, D.F., 1983, *Encyclopedia ofChemical Technology*, 3rd ed., John Wiley and Sons,Inc.,New York

Kirk, R.E. and Othmer, V.R., 1995, *Encyclopedia of Chemical Technology*, vol.16 Mass Transfer to Neuroregulators, 4th ed., John Wiley & Sons Inc., New York.

Matche. 2024. equipment cost. http://www.matche.com/. Diakses pada tanggal 16 juli 2024 pukul 23.30 WIB.

Mc Cabe, Smith, J.C, and Harriot, 1985, *Unit Operation of Chemical Engineering*, 4th ed., Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York

Mc Ketta, J.J. and Cunningham, D.F., 1976, *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, vol.11, Marcel Pekker, New York, p. 350-370.

Perry, R.H. and Green, D.W., 1950, *Chemical Engineers' Handbook*, 3th ed., McGraw Hill Book Company, Tokyo.

Smith, J.M., Van Ness, H.C., & Abbot, M.M., 1987, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 5 th ed, Mc Graw Hill Book Company Inc., New York

Smith, R. (2005). *Chemical Process Design and Integration*. John Wiley & Sons.

Treybal, R.E., 1984, *Mass Transfer Operation*, 3rd ed., McGraw Hill International Book Company, Japan.

Ulman's, 1988, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, vol.A11 Fibers 5.Synthetic Inorganic to Formaldehyde, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim..

Yaws, C.L., 1999, *Chemical Properties Handbook*, McGraw Hill Companies Inc., USA

LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR

PERHITUNGAN REAKTOR

Tugas : Mereaksikan CH_3OH dan O_2 menjadi CH_2O dengan bantuan Katalis *Iron Molybdenum*

Fase : Gas

Jenis : *Fixed Bed Multitube Reactor*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*

Kondisi Operasi

Suhu (T) : 275°C

Tekanan (P) : 1,5 atm

Konversi : 95%

Reaksi : Eksotermis

1. Neraca Massa

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 8		Arus 9	
	Mol (kmol)	Massa (kg)	Mol (kmol)	Massa (kg)
CH_3OH	23,28	745,09	1,16	37,26
O_2	17,91	573,15	6,85	219,23
N_2	50,05	1401,48	50,05	1401,48
H_2O	0,42	7,53	22,54	405,68
CH_2O	0	0	22,12	663,60
TOTAL	**2.727,25**		**2.727,25**	

2. Neraca Panas

a. Menentukan Q Pendingin

Komponen	Qin (panas masuk)			
	kmol/jam	Hin = Cp.dT		Qin = n Cp.dT
		Joule/mol.K	kJ/kmol.K	kJ/jam
CH_3OH	23,284	-4,37E+04	-4,37E+04	-1,02E+06
O_2	17,911	-2,89E+04	-2,89E+04	-5,18E+05
N_2	50,053	3,37E+00	3,37E+00	1,69E+02
H_2O	0,418	1,55E+02	1,55E+02	6,47E+01
CH_2O	0,000	1,50E+03	1,50E+03	0,00E+00
TOTAL				**-1,54E+06**

Komponen	Qout (panas keluar)			
	kmol/jam	Hout = Cp.dT		Qout = n Cp.dT
		Joule/mol.K	kJ/kmol.K	kJ/jam
CH_3OH	1,164	1,34E+04	1,34E+04	1,56E+04
O_2	6,8509	5,87E+03	5,87E+03	4,02E+04
N_2	50,053	7,36E+03	7,36E+03	3,68E+05
H_2O	22,538	8,67E+03	8,67E+03	1,95E+05
CH_2O	22,120	1,01E+04	1,01E+04	2,24E+05
TOTAL				**8,44E+05**

Komponen	Hf (kJ/mol)	Hf (kJ/kmol)	ΔH(J/mol)	ΔH(kJ/kmol)
CH_3OH	-209,251	-209.251,438	9.892,575	9.892,575
O_2	0,000	0,000	7.073,468	7.073,468
N_2	0,000	0,000	7.273,210	7.273,210
H_2O	-244,297	-244.297,151	8.359,243	8.359,243
CH_2O	-119,997	-119.996,624	8.345,346	8.345,346

HR = Hf produk - Hf reaktan

= -155.042,34 Kj/kmol

Hfreaktan = 13.429,31 Kj/kmol

HfProduk = 16.704,59 Kj/kmol

HR = -151.767,06 Kj/kmol

b. Menentukan massa pendingin yang dibutuhkan

Jenis : H_2O

T : 30°C

Tekanan : 56 atm

BM : 18

Cp : 0,1152 + 0,0003402 T Kal/gr.K

Densitas : 1,3644 - 9,7073.10^{-4} gr/cm^3

Viskositas : 35,5898 - 6,04212 gr/cm.hr

Konduktivitas thermal : 1,512 - 0,0010387 Kal/hr.cm.K

Menentukan pendingin yang dibutuhkan

Pendingin yang dipakai adalah H_2O:

Suhu *Thermal Fluid* masuk = 30°C = 303 K

Suhu *steam* keluar = 271,33°C = 544,48 K

Cp H_2O = 4,89E-01 kJ/kg.K

Qh = 977.339,30 kJ/jam

Pendingin yang dibutuhkan = 5000 kg/jam

Q_{reaksi} = H_R. FAo

Q_{reaksi} = -3.357.070,18 kJ/jam

$Q_{pendingin}$ = 977.339,30 kJ/jam

	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Q Umpan	-1.535.665,19	0
Q Produk	0	844.065,69
Q Reaksi	3.357.070,18	0
QPendingin	0	977.339,30
Total	1.821.404,99	1.821.404,99

3. Perhitungan Sifat-sifat fisis

a. Viskositas campuran gas

$$n_{gas} = A + BT + CT^2$$

Sumber: "*Chemical Properties Handbook"*, Carl L. Yaws, 1999 (Pers. (21-1) hal 452)

Keterangan:

A, B, dan C : Konstanta empiris

T : Temperature [K]

μ : Viskositas fase gas [kg/m.s]

Komponen	A	B	C
CH_3OH	-14,236	0,389	-0,000063
O_2	44,224	0,562	-0,00011
N_2	42,606	0,475	-0,000098
H_2O	-36,826	0,429	-0,000016
CH_2O	-6,439	0,448	-0,000101

μ campuran gas adalah 0,0093 kg/m.jam

b. Kapasitas panas campuran gas

Dihitung dengan persamaan:

$$C_{pg} = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

Sumber: "*Chemical Properties Handbook*", Carl L. Yaws, 1999 (pers. (2-1) hal 30)

Keterangan:

Cp : Kapasitas Panas gas ideal [joule/(mol.K)]

A, B, C, D, dan E : Konstanta

T : *Temperature* [K]

Tabel 3.b. Data kapasitas panas komponen gas umpan

Komponen	A	B	C	D	E
CH_3OH	40,046	-3,83E-02	2,45E-04	-2,17E-07	5,99E-11
O_2	29,526	-8,90E-03	3,81E-08	-3,26E-08	8,86E-12
N_2	29,342	-3,54E-03	1,01E-05	-4,31E-09	2,59E-13
H_2O	33,933	-8,42E-03	2,99E-05	-1,78E-08	3,69E-12
CH_2O	34,428	-2,98E-02	1,51E-04	-1,27E-07	3,39E-11

Cp campuran Gas adalah 36,20 kJ/Kmol.K

c. Konduktivitas Thermal gas

$$K_g = A + BT + CT^2$$

Sumber: "*Chemical Properties Handbook*", Carl L. Yaws, 1999 (pers. (23-1) hal 505)

Keterangan:

K : Konduktivitas thermal gas [kJ/jam.m.K]

A, B, dan C : Koefisien regresi dari komponen senyawa

T : *Temperature* [K]

Tabel 3.c Data Konduktivitas Thermal komponen gas umpan

Komponen	A	B	C
CH_3OH	2,34E-03	5,43E-06	1,32E-07
O_2	1,21E-03	8,62E-05	-1,33E-08
N_2	3,09E-03	7,59E-05	1,10E-08
H_2O	5,3E-04	4,71E-05	4,96E-08
CH_2O	1,71E-03	1,94E-05	9,53E-08

K campuran gas adalah 0,17 kJ/jam.m.K

d. Densitas campuran gas

Densitas gas dapat ditentukan melalui persamaan gas ideal sebagai berikut:

$$\rho = \frac{BM_{camp} \times P}{(Z \times R \times T)}$$

Keterangan:

P : Tekanan [atm]

BM : Berat Molekul total [kg/kmol]

R : Konstanta gas [m3.atm/kmol.K]

T : *Temperature* [K]

Z : Faktor Kompresibilitas

ρ campuran gas adalah 0,99 kg/m^3

e. Spesifikasi Katalis

Data sifat katalis (*Iron Molybdenum Oxide*)

Jenis Katalis : *Iron Molybdenum*

Diameter : 0,45 cm

Panjang : 0,4 cm

Densitas : 4500 kg/m^3

Porositas : 0,52

Bentuk : Pellet

Bulk Density : 3005,44 kg/m^3

4. Dimensi Reaktor

a. Tube

1) Menentukan Ukuran Tube

Diameter pipa reaktor dipilih berdasarkan pertimbangan agar perpindahan panas berjalan dengan baik. Mengingat reaksi yang terjadi eksotermis, untuk itu dipilih aliran gas dalam pipa turbulen agar koefisien perpindahan panas lebih besar.

Pengaruh ratio Dp/Dt terhadap koefisien perpindahan panas dalam pipa yang berisi butir-butir katalisator dibandingkan dengan pipa kosong yaitu hw/h telah diteliti oleh Colburn's (smith hal 571) yaitu :

Tabel 4.a.1 Perhitungan ratio Dp/Dt dan hw/h

Dp/Dt	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
hw/h	5,5	7,0	7,8	7,5	7,0	6,6

Dimana:

hw = Koefisien perpindahan panas dalam pipa berisi katalis

h = Koefisien perpindahan panas dalam pipa kosong

Dp = Diameter katalisator

Dt = Diameter tube

Sehingga:

Dp/Dt = 0,15

Dp = 0,455 cm

Dt = 3,03 cm = 1,19 in

Dari hasil perhitungan tersebut, maka diambil ukuran pipa standar agar koefisien perpindahan panasnya baik.

Dari tabel 11 Kern (*Dimensions of Steel Pipe*, halaman 844) dipilih pipa dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ukuran pipa *(IPS)* : 0,75 in

Out diameter (OD) : 1,05 in

Inside diameter (ID) : 0,82 in

Flow area per pipe : 0,53 in

Schedule number : 40

Surface per lin ft : *Outside* = 0,28 ft2/ft

: *Inside* = 0,22 ft2/ft

Weight per lin ft : 1,13 lb *steel*

2) Menghitung Jumlah Tube

Bentuk katalis	Pellet
Re	3100
Aliran dalam pipa adalah transisi, maka Nre = 3100	
***Friction factor* (fD)**	0,4

Maka:

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

Dimana:

Re = *Reynold number*

Gt = Kecepatan massa gas [kg/jam]

Dt = Diameter tube [m]

μ = Viskositas gas [kg/m.jam]

$Gt = \frac{\frac{0,00927 \mathrm{kg}}{\mathrm{m}}.\mathrm{jam} \times 3100}{0,021m}$ =1374,795 kg/m^2.jam

$$At = \frac{\mathrm{G}}{Gt}$$

$At = \frac{2727,25 \text{ kg/jam}}{1374,795 \frac{kg}{m^2}.jam}$ = 1,98 m^2

$$Ao = \frac{\pi}{4} ID^2$$

$Ao = \frac{3,14}{4} \times 0,021\ m$ = 0,00034 m^2

$$Nt\ max = \frac{\text{At}}{Ao}$$

$Nt\ max = \frac{1{,}984\ m^2}{0{,}00034\ m^2}$ = 5777,69 buah

$$(Vmax) = \sqrt{\frac{4 \times (\rho b - \rho g) \times g \times Dp}{3 \times \rho g \times Fo}}$$

$(Vmax) = \sqrt{\frac{4 \times \left(3005{,}44 \frac{kg}{m^3} - \frac{0{,}993 kg}{m^3}\right) \times \frac{9{,}8 m}{s} \times 0{,}0045\ m}{3 \times \frac{0{,}993 kg}{m^3} \times o{,}4}}$ = 21,21 m/s = 76339,22 m/jam

$$Q = \frac{\text{G}}{\rho g}$$

$Q = \frac{2727{,}25\ \text{kg/jam}}{\frac{0{,}993 kg}{m^3}}$ = 2746,21 m^3/jam

$$At = \frac{\text{Q}}{Vmax}$$

$At = \frac{2746{,}21\ m^3/jam}{76339{,}22\ m/jam}$ = 0,036 m^2

$$Nt\ min = \frac{\text{At}}{Ao}$$

$Nt\ min = \frac{0{,}036\ m^2}{0{,}00034\ m^2}$ = 104,77 buah

Maka:

Dari hasil perhitungan tersebut, maka jumlah tube standar dari tabel 9 kern, hal. 842 yaitu:

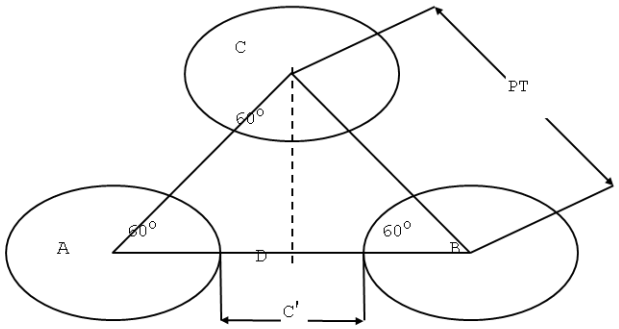
Nt: 109 buah

Ids: 13,25

b. Menentukan diameter dalam reaktor

Tube disusun dengan pola *triangular pitch* dengan beberapa pertimbangan:

1) Susunan tube lebih kuat
2) Lebih mudah dibersihkan
3) Pipa (tube) disusun dengan pola "*triangular pitch*" agar turbulensi yang terjadi pada aliran fluida dalam shell menjadi besar, sehingga akan memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi (ho). Sehingga transfer panas lebih baik dari pada susunan *square pitch* (kern,1983).



Jarak antar pusat pipa (PT)

$PT = 1{,}25 \times ODt$

$PT = 1{,}25 \times 1{,}05\ in$ = 1,31 in

Jarak antar pipa (*clearence*)

$C' = PT - ODt$

$C' = 1{,}31in - 1{,}05\ in$ = 0,2625 in

Diameter dalam reaktor (IDs)

$$IDs = \sqrt{\frac{4 \times Nt \times PT^2 \times 0{,}866}{\pi}}$$

$$IDs = \sqrt{\frac{4 \times 109 \times 1{,}31 \times 0{,}866}{3{,}14}} = 14{,}39 \text{ in} = 0{,}366 \text{ m}$$

c. *Shell*

1) Tebal shell (ts)

Menurut *Brownell & Young* (1979), tebal shell dapat dihitung dengan persamaan:

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

Dengan:

ts : tebal shell = 0,185 in

P : tekanan *design* = 26,45 psi

E : *Allowable stress* = 0,8

r : *maximum joint efficiency* = 7,196 in

C : *Corrosion alowance* = 0,125

F : *Maximum allowable stress* = 14900 psi

Bahan yang digunakan *SA-167 Grade 3 type 304*

Dasar pemilihan bahan kontruksi:

- *Stainless Steel* 304 memiliki komposisi 18-20% kromium dan 8-12% nikel. Karena tingginya kandungan kromium, bahan ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korosi
- Tahan terhadap suhu ekstrem
- Harga lebih murah

Maka,

$$ts = \frac{26{,}45\ psi \times 7{,}196\ in}{14.900\ psi \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 26{,}45\ psi} + 0{,}125 = 0{,}141 \text{ in} = 0{,}00036 \text{ m}$$

Tebal dinding standar yang dipilih = 0,1875 in = 0,0048 m

2) Diameter luar shell (Ods)

Perhitungan diameter luar reaktor

$ODs = IDs + 2ts$

$ODs = 14{,}39\ in + 2 \times 0{,}1875\ in = 14{,}77$ in

Dipilih diameter luar standar = 16 in (Brownell, 1959, tabel 5.7, hal 90)

3) Menentukan volume shell

$$VS = \frac{\pi}{4} \times IDs^2 \times Z$$

$$VS = \frac{3{,}14}{4} \times (14{,}39\ in)^2 \times 240\ in = 39.026{,}02 \text{ in}$$

d. Kinetika Reaksi

Menurut Ruwida (2018), persamaan reaksi dan persamaan kinetika yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O$$

$$-r_{CH3OH} = 4{,}762 \times 10^{-5} \times exp\left[-17.630 \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{485}\right)\right] P_{CH3OH}{}^{0,5}\ P_{O2}{}^{0,1}$$

Keterangan:

r	: Kecepatan reaksi	[kmol/kg.cat.s]
T	: Suhu	[K]
P	: Tekanan parsial	[N/m^2]

Persamaan umum laju reaksi:

$$r = k' exp^{\frac{-E}{R}\left[\frac{1}{T}\right]}$$

k’ : Faktor kinetika = $4{,}762 \times 10^{-5}$

E : Energi aktivasi [kJ/kmol]

T : Suhu [k] = 485 k

R : Konstanta gas [cal/mol.k]

Variabel E dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$-\frac{17.630}{T} = -\frac{E}{R}\left[\frac{1}{T}\right]$$

$$-\frac{E}{R} = -17.630$$

$E = R \times 17.630$ 0,19510,1

$E = 8{,}314 \times 17.630 = 146.576$ kJ/kmol

Maka,

$-r_{CH3OH} = 4{,}762 \times 10^{-5} \times exp\left[-17.630 \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{485}\right)\right] P_{CH3OH}{}^{0,5}\ P_{O2}{}^{0,1}$

$-r_{CH3OH} = 4{,}762 \times 10^{-5} \times exp\left[-17.630 \times \left(\frac{1}{548} - \frac{1}{485}\right)\right] P_{0,0221}{}^{0,5}\ P_{0,1951}{}^{0,1}$

$-r_{CH3OH} = 0{,}000485$ kmol/kg.cat.s

e. Simulasi

1) *Flowsheet*

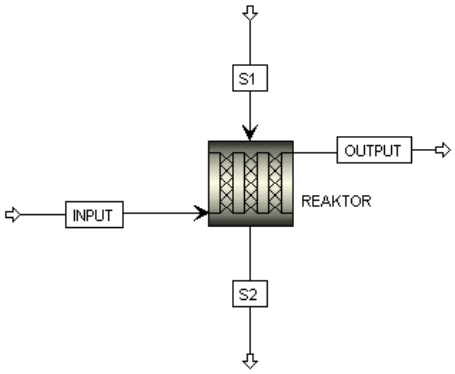
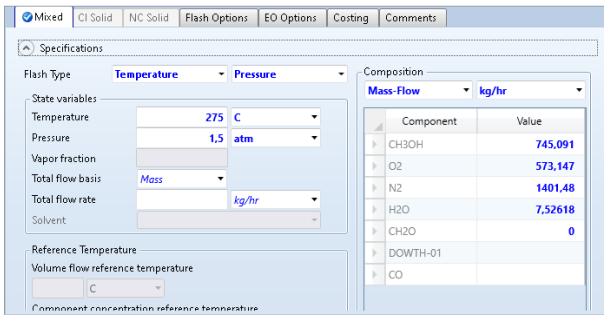
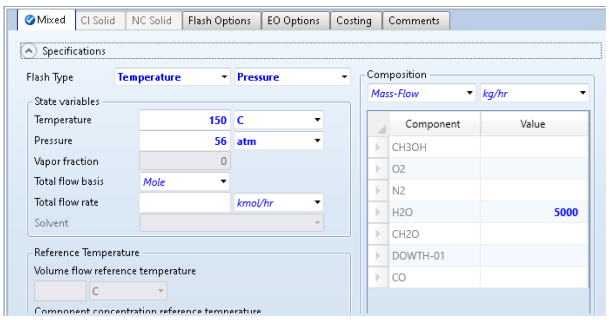


Diagram alir proses (*Flowsheet*) yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Aspen Plus*. simulasi ini dilakukan untuk memodelkan reaktor yang digunakan dalam proses pembentukan metanol menjadi formaldehid. Reaktor yang digunakan adalah tipe *Plug Flow Reactor (PFR)*.

2) Umpan





Kondisi operasi umpan ke reaktor sebagai berikut:

- Input

  Suhu : 275°C

  Tekanan : 1,5 atm

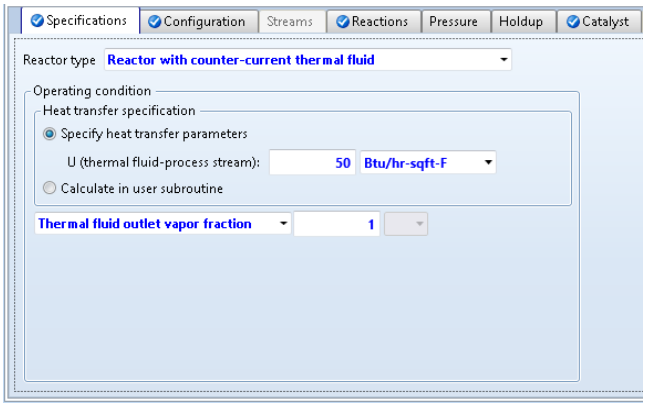
- S1 (*Thermal fluid*)

  Suhu : 150°C

  Tekanan : 56 atm

  Cairan pendingin yang digunakan dalam simulasi tersebut adalah H_2O

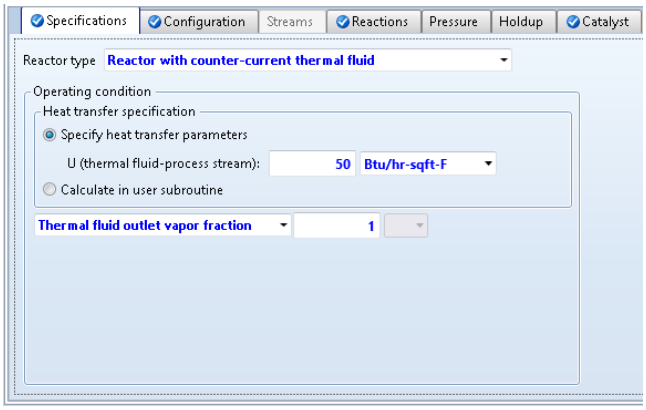
3) *Thermal fluid*



Pada gambar ini dipilih tipe reaktor "*Reactor with Counter-current Thermal Fluid*" yang merupakan tipe multitube dengan pendingin fluida termal mengalir berlawanan arah. Pilihan ini digunakan karena proses oksidasi metanol ke formaldehid bersifat eksotermis, sehingga diperlukan sistem pendingin yang efektif untuk menjaga suhu reaksi tetap stabil.

Menurut Smith. R (2005) Parameter perpindahan panas ditentukan secara manual dengan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh U = 50 Btu/hr-ft^2-F.

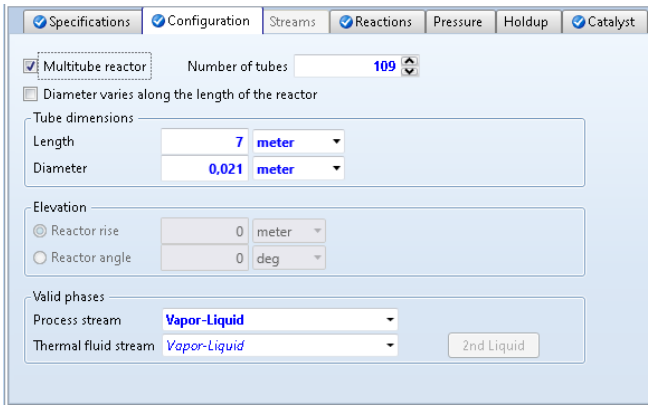
4) Spesifikasi reaktor



- Spesifikasi

Pada gambar ini dipilih tipe reaktor "*Reactor with Counter-current Thermal Fluid*" yang merupakan tipe multitube dengan pendingin fluida termal mengalir berlawanan arah. Pilihan ini digunakan karena proses oksidasi metanol ke formaldehid bersifat eksotermis, sehingga diperlukan sistem pendingin yang efektif untuk menjaga suhu reaksi tetap stabil.

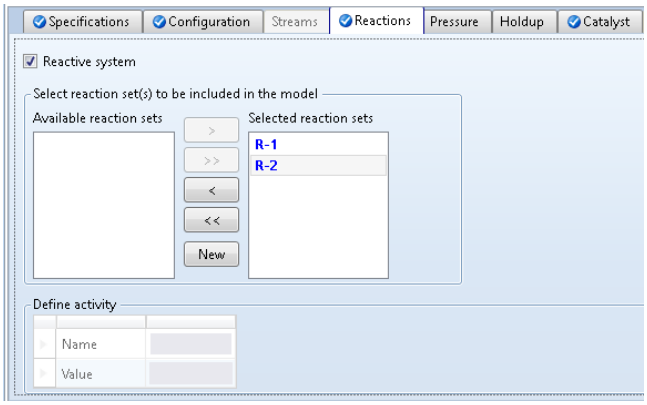
Menurut Smith.R (2005), parameter perpindahan panas ditentukan secara manual dengan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh U = 50 Btu/hr-ft^2-F.



- Konfigurasi reaktor

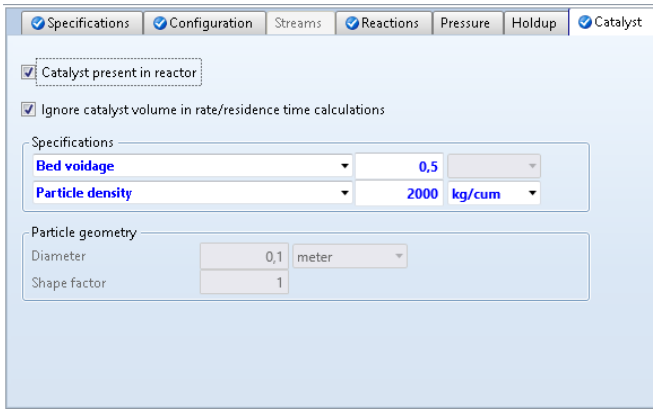
Konfigurasi reaktor ini menggunakan *Multitube Reactor* dengan jumlah tube sebanyak 109 buah. Masing-masing tube memiliki panjang 7 meter dan diameter 0,021 meter.

Pemilihan aliran dua fasa (vapor-liquid) baik pada *process stream* maupun *thermal fluid stream* dilakukan karena pada kondisi operasi 275 °C dan 1,5 atm, beberapa komponen reaktan dan produk dapat berada dalam campuran uap-cair, serta memungkinkan pendingin memiliki dua fasa (*steam*) digunakan untuk efisiensi perpindahan panas.



- Reaksi dalam reaktor

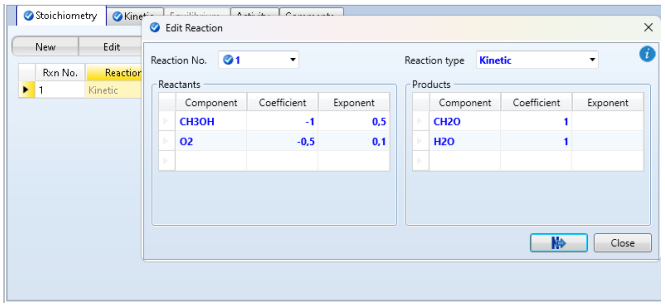
Pada gambar ini menunjukan bahwa reaksi, yaitu R-1. reaksi yang dimodelkan merupakan oksidasi metanol menjadi formaldehid dan air. Pemilihan tipe reaksi *kinteic* dilakukan untuk merepresentasikan pengaruh laju reaksi berdasarkan konsentrasi masing-masing komponen dan suhu reaksi.

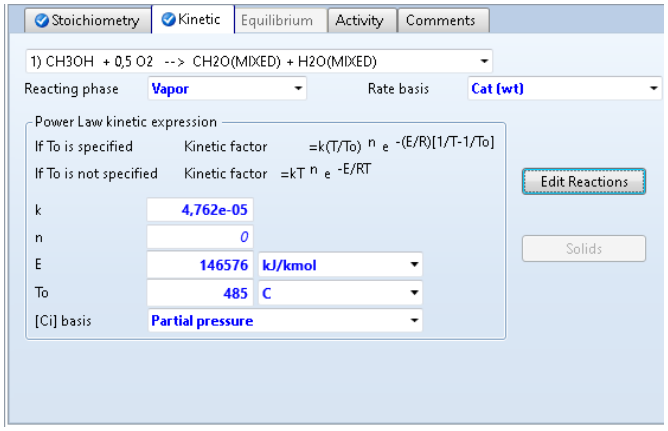


- Spesifikasi katalis

Simulasi reaktor mempertimbangkan keberadaan katalis "*Catalys present in reactor*". Parameter katalis dimasukan berupa *bed voidage* sebesar 0,5 dan densitas partikel katalis sebesar 2000 kg/m$^{3.}$

5) Reaksi



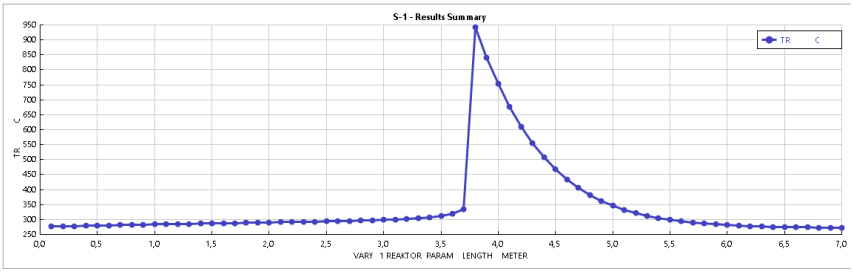


- Kinetika reaksi

$$CH_3OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O$$

Koefisien reaktan dan produk dimasukkan sesuai stoikiometri reaksi. Reaksi ini dimodelkan dalam fase gas dengan basis laju berdasarkan berat katalis (Cat (wt)). Adapun eksponen laju reaksi masing-masing untuk CH_3OH dan O_2 adalah 0,5 dan 0,1. (Ruwida, 2018)

6) Grafik panjang reaktor



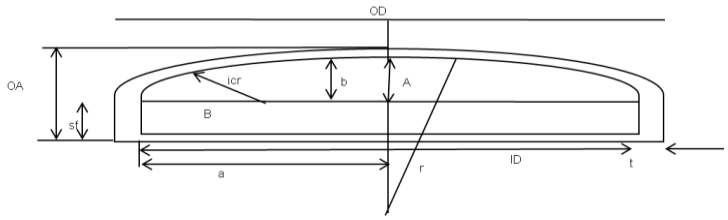
- Panjang reaktor

Hasil simulasi *Aspen Plus* yang menampilkan variasi panjang reaktor. Tren penurunan suhu ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dalam reaksi tersebar lebih merata seiring bertambahnya panjang reaktor. Panjang reaktor yang dihasilkan berdasarkan

simulasi *Aspen Plus* yaitu 6,4 m, panjang reaktor yang ditentukan memiliki selisih 4°C antara selisih suhu pendingin dengan suhu reaktor. (Smith. R, 2005)

f. *Head*

1) Menentukan bentuk *head*



Dalam menentukan pemilihan jenis *head*, hal-hal yang harus dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

- *Flanged* dan standar *dished head*, umumnya digunakan untuk tekanan operasi rendah, harganya murah dan digunakan untuk tangki dengan diameter kecil.
- *Torisperical flanged* dan *dished head,* digunakan untuk tekanan operasi 15 bar dan harganya cukup ekonomis
- *Ellipsoidal head,* digunakan untuk tekanan operasi tinggi dan harganya cukup mahal
- Hemisperical head, digunakan untuk tekanan operasi sangat tinggi, kuat dan ukuran yang tersedia sangat terbatas.

Dari pertimbangan-pertimbangan di atas dan tekanan operasi perancangan yang dibuat, maka dipilih bentuk *Torispherical Flanged* dan *Dished Head* sebagai kepala reaktor. Pemilihan bentuk ini

didasarkan pada pertimbangan teknis dan ekonomis, dengan alasan sebagai berikut:

- Ketahanan terhadap tekanan - *torisperical head* dapat digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dengan biaya yang relatif ekonomis (Coulson, hal. 818)
- Kesesuaian dengan rentang tekanan - berdasarkan dari Brownell dan Young (1959), bentuk ini cocok digunakan untuk bejana dengan tekanan operasi 15-200 psig, sehingga sesuai dengan spesifikasi proses dalam perancangan ini.

2) Menentukan tebal *head*

Menurut Brownell & Young (1979), tebal menara dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$th = \frac{P \times IDs}{2SE - 0{,}2P} + C$$

Dengan data yang diperoleh dari buku Brownell & Young serta Carl Branan, diperoleh:

P : tekanan [psi]

S : *Allowable stress*

E : Efisiensi pengelasan

C : Faktor korosi [in]

IDs : Diameter dalam shell

th : Tebal *head*

Tangki dirancang menggunakan *Stainless steel SA-167 Grade 3 Type 304* dengan tegangan maksimum yang diizinkan sebesar 14900 psi. Data-data mengenai bahan-bahan tersebut adalah sebagai berikut:

- *Allowance stress*, f : 14.900 psi
- Efisiensi sambungan, E : 0,8 (*double welded butt joint*)
- Faktor korosi, C : 0,125 in

Interval pressure pada reaktor sebesar atm dan untuk factor *safety*, maka digunakan overdesign sebesar 20% dari *interval pressure*, sehingga:

- *Interval pressure* (20% *overdesign*) : 26,453 psi
- Diameter dalam *shell* : 14,393 in
- Jari-jari dish (rc) : 15 in
- Tebal *head* (th) : 0,141 in

Dipilih tebal *head* standar 0,1875 in

3) Menentukan tinggi *head*

Menurut Brownell & Young (1979), tinggi head reaktor dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Hh = b + sf + th$$

Berdasarkan tabel 5.6 (Brownell & Young, 1979), maka diperoleh:

th standar:

sf : 2 in

icr : 0,5625 in

Berdasarkan perhitungan, diperoleh data sebagai berikut:

a : 7,196 in

AB : 6,196 in

BC : 14 in

AC : 12,554 in

b : 2,446 in

Sehingga diperoleh tinggi head sebesar 4,633 in atau sebesar 0,118 m

4) Menentukan volume *head*

Volume *head* dapat dihitung menggunakan persamaan 5.11 (Brownell & Young, 1959).

$$Vhead = 2 \times (0{,}000049 \times IDs^3)$$

Dengan,

Vhead : Volume *head* [ft3]

IDs : Diameter dalam *shell* [in]

$Vhead = 2 \times (0{,}000049 \times 14{,}39^3 in)$ = 0,292 in

Sehingga diperoleh volume *head* sebesar 0,292 in3 atau sebesar 0,000004788 m3

g. Spesifikasi reaktor

1) Volume reaktor

$VR = Vshell + Vhead$

$VR = 39.026{,}02\ in + 0{,}292\ in$ = 39.026,31 in^3 = 0,640 m^3

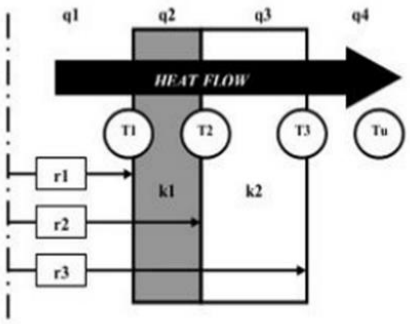
2) Tinggi total reaktor

Tinggi total reaktor sebesar 6,4 m

5. Tebal isolasi

Dalam sistem reaktor, penggunaan isolasi memiliki peran penting untuk menjaga efisiensi operasi serta meningkatkan aspek keselamatan. Berikut adalah beberapa fungsi utama isolasi pada reaktor:

- Menjaga suhu dinding - Mencegah kehilangan dingin berlebih dan menjaga efisiensi proses
- Keamanan operator - mengurangi risiko luka bakar dan menciptakan lingkungan kerja yang nyaman
- Perlindungan material - Mencegah korosi akibat kondensasi dan memperpanjang umur peralatan.



Keterangan:

T1 = Suhu cairan dalam reaktor

T2 = Suhu dinding dalam reaktor

T3 = Suhu dinding luar reaktor

T4 = Suhu dinding luar isolasi

T5 = Suhu lingkungan (Tu)

Tis = Tebal isolasi

ts = Tebal dinding reaktor

r1 = Jari-jari dalam reaktor

r2 = Jari-jari luar reaktor = r1 + ts

r3 = Jari-jari luar isolasi = r2 + tis

Perpindahan kalor yang terjadi:

- Perpindahan kalor secara konduksi dari dinding dalam pipa ke dinding keluar pipa
- Perpindahan kalor secara konduksi dari dalam isolator ke dinding luar isolator
- Perpindahan kalor secara konveksi dan radiasi dari permukaan isolator ke udara lingkungan

Dirancang:

T4 (Tw)	= 50°C	= 122°F	= 581,67°R

Diketahui:

T1	= 275°C	= 527°F	= 986,67°R
T5 (Tu)	= 30°C	= 86°F	= 546°R
IDs	= 0,3656 m	= 1,20 ft	
Ts	= 0,0036 m		
Z	= 6 m	= 20 ft	
r2	= 0,37 m	= 1,21 ft	

a. Spesifikasi Isolasi

Bahan	: Asbestos	
Konduktivitas termal (Kis)	: 0,1234 Btu/jam/ft/°F	= 0,2135 watt/m/K
Emisivitas	: 0,945	

Isolasi asbestos dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga efektif dalam selain itu, nilai emisivitas yang tinggi membantu dalam meminimalkan perpindahan panas melalui radiasi. Asbestos dapat digunakan pada rentang suhu antara 33-750°F (Rase and Barrow, 1957).

b. Sifat fisis dinding reaktor

Material : *Stainless Steel*

Konduktivitas termal (ks) : 25,25 Btu/jam/ft/°F = 43.7011 Watt/m/K

Stainless steel dipilih sebagai material reaktor karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi, memungkinkan perpindahan panas yang baik dari gas proses ke dinding reaktor sebelum akhirnya dikontrol oleh sistem isolasi.

c. Perancangan

1) *Trial* tebal isolasi, tis = 9,758 in = 0,8132 ft = 0,2479 m
2) Jari-jari luar isolasi, r3 = r2 + tis = 2,024 ft
3) Perhitungan luas permukaan luar isolasi

   $AOis = \pi \times (IDs + 2ts + tis) \times Z$

   $AOis = 178.9303$ ft^3
4) Trial suhu permukaan luar isolasi

   T4 = Tw = 50°C = 122°F = 581,67°R
5) Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi bebas dan radiasi dari dinding luar isolasi ke sekitar

   - Koefisien perpindahan panas konveksi bebas:

     $hc = 0{,}3 \times \Delta T^{0{,}25}$

     $hc = 0{,}7348$ Btu/jam/ft2/°R

$\Delta T = Tw - Tu$ = 36°R

- Koefisien perpindahan panas radiasi:

$$hr = \frac{\sigma\varepsilon(Tw^4 - Tu^4)}{(Tw - Tu)}$$

$hr = 1{,}16$ btu/jam/ft2/°R

6) Perhitungan panas hilang setelah diisolasi

$Qloss = (hr + hc) \times A \times \Delta T$

$Qloss = 12210{,}95$ btu/jam = 3079,16 Kkal/jam

7) Perhitungan suhu dinding luar reaktor

$$T3 = T2 - \left(\frac{Q_2 ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \times \pi \times Z \times ks} \right)$$

Dengan menganggap Q2 = Qloss dan T2 = T1, maka diperoleh:

T3 = 526,96°F

8) Perhitungan suhu dinding luar isolasi

$$T4 = T3 - \left(\frac{Q_3 ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 \times \pi \times Z \times kis} \right)$$

Dengan menganggap Q3 = Q*loss*, maka diperoleh:

T4 hitung = 581,85°R = 122,18°F = 50,10°C

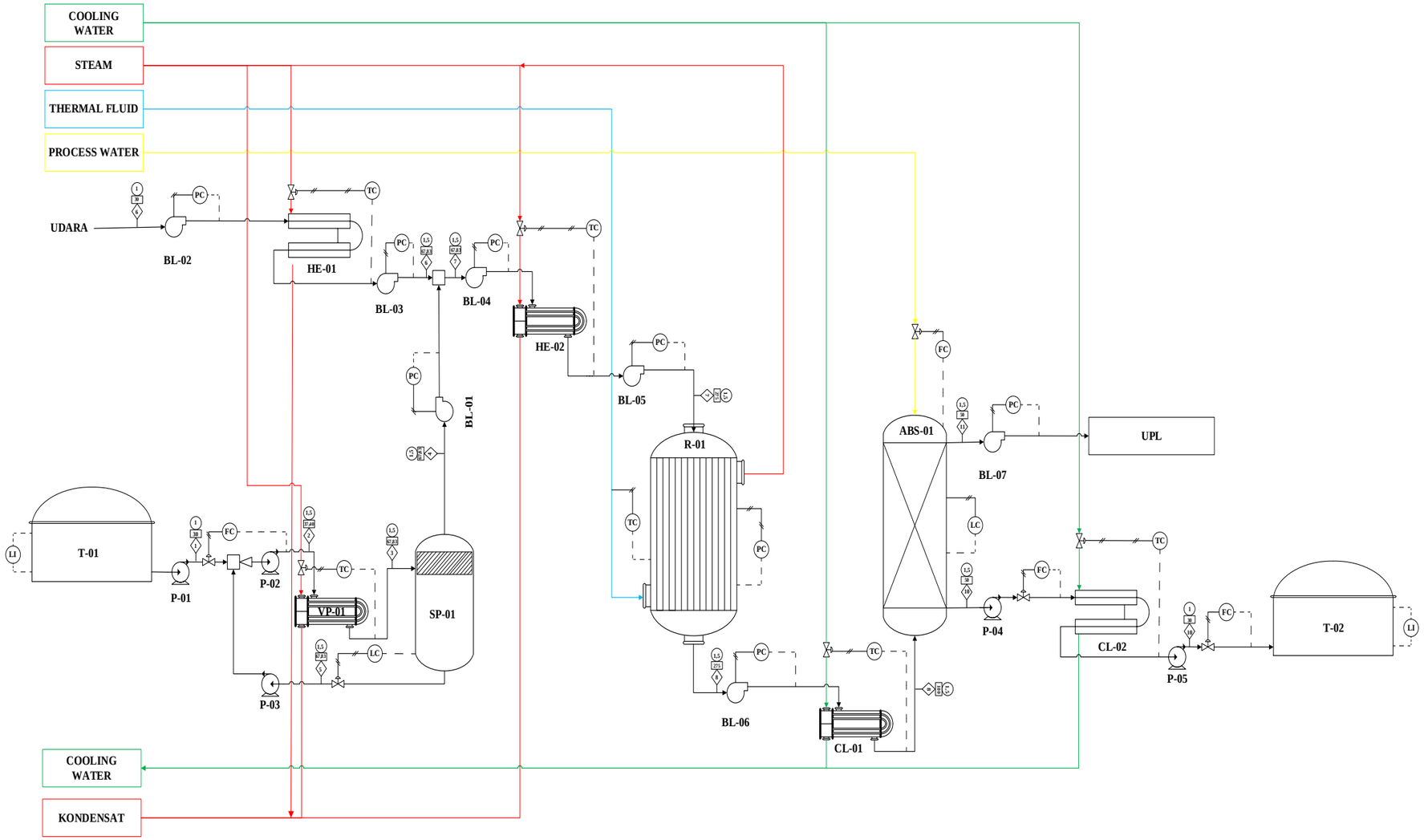
Dengan toleransi:

Abs (T4 *Trial* - T4 hitung = 0,10°C

Karena T4 hitung ~ T4 trial dan T4 = 50°C maka perhitungan sudah benar

LAMPIRAN B. PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA-RANCANGAN PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN PROSES *MIXED OXIDE* KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN



KETERANGAN SIMBOL

	: Tekanan, atm
	: Suhu, C
	: Nomor Arus
	: *Control Valve*
	: Arus Sinyal *Pneumatic*
	: Arus Sinyal Listrik
	: Arus Proses
	: Arus *Steam*
	: Arus *Cooling Water*
	: Arus Kondensat

KETERANGAN ALAT

ABS	: *Absorber*
BL	: *Blower*
CL	:*Cooler*
HE	:*Heater*
P	: Pompa
R	: Reaktor
SP	: *Separator*
T	: Tangki Penyimpanan
UPL	: Unit Pengolahan Limbah
VP	: *Vaporizer*

KETERANGAN INSTRUMEN

FC	*: Flow Control*
PC	*: Pressure Control*
TC	*: Temperature Control*
LI	*: Level Indicator*
LC	*: Level Controll*

Komponen	No. Arus										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CH_3OH	745,0909	745,0909	931,3637	745,090	186,2727	0	745,0909	37,2545	0	27,9409	9,3136
O_2	0	0	0	0	0	573,1469	573,1469	219,2287	0	0	219,2287
N_2	0	0	0	0	0	1401,4806	1401,4806	1401,4806	0	0	1401,4806
H_2O	7,5262	7,5262	9,4077	7,5262	1,8815	0	7,5262	405,6841	739,5170	1090,6678	54,5334
CH_2O	0	0	0	0	0	0	0	663,5966	0	656,9606	6,6360

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PABRIK FORMALDEHID DARI METANOL DENGAN PROSES *MIXED OXIDE* KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Dikerjakan Oleh:
Muhammad Hizbullah Furqon (21521101)
Rudin Priyanto (21521104)

Dosen Pembimbing:
Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU PEMBIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Muhammad Hizbullah Furqon

NIM : 21521101

Nama Mahasiswa : Rudin Priyanto

NIM : 21521104

Semester/Tahun Akademik : 8 / 2024/2025

Nama Dosen Pembimbing : Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

No.	Tanggal	Konsultasi	Paraf Dosen
1	15 November 2024	Diskusi mengenai penentuan kapasitas produksi pabrik dan ketersediaan bahan baku.	
2	20 November 2024	Diskusi mengenai Tinjauan Pustaka, Tinjauan Kinetika dan Tinjauan Temodinamika	
3	28 November 2024	Penentuan spesifikasi bahan baku, produk, dan pengendalian kualitas	
4	11 Desember 2024	Pembuatan diagram alir kualitatif proses produksi	
5	16 Desember 2024	Revisi diagram alir kualitatif proses produksi	
6	26 Februari 2025	Pembahasan neraca massa keseluruhan proses dan recycle.	
7	7 Maret 2025	Revisi neraca massa keseluruhan proses dan recycle	
8	28 Mei 2025	Perancangan reaktor meliputi jenis, kondisi operasi, ukuran, dan perhitungan kinetika awal.	

9	3 Juni 2025	Revisi Perancangan reaktor, Desain alat pemisah, Pembuatan Process Engineering Flow Diagram (PEFD), Perancangan alat penyimpanan bahan baku dan produk.	
10	11 Juni 2025	Perancangan sistem transportasi bahan (pompa dan blower).	
11	20 Juni 2025	Desain alat penukar panas (heat exchanger), dan pemilihan jenis.	
12	25 Juni 2025	Perhitungan neraca panas untuk seluruh sistem, Lokasi pabrik, struktur organisasi, Karyawan dan gaji	
13	2 Juli 2025	Perancangan Utilitas, perancangan layout pabrik, dan perancangan evaluasi ekonomi	

Disetujui draft penulisan :
Yogyakarta, 2 Juli 2025

Pembimbing

Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.
NIK. 105210101