

**PRA RANCANGAN PABRIK BUTIL ASETAT
DARI ASAM ASETAT DAN BUTANOL DENGAN
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**



Oleh:

Nama : Muhammad Azra Pranasastra

Nama : Abid Bagus Senjaya

NIM : 22521013

NIM : 22521049

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

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

PRA RANCANGAN PABRIK BUTIL ASETAT DARI ASAM ASETAT DAN BUTANOL DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Azra Pranasastra

Nama : Abid Bagas Senjaya

NIM : 22521013

NIM : 22521049

Yogyakarta, Juni 2026

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

Muhammad Azra Pranasastra

Abid Bagas Senjaya

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN BUTIL ASETAT DARI ASAM ASETAT DAN BUTANOL DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Muhammad Azra Pranasastra

Nama : Abid Bagus Senjaya

NIM : 22521013

NIM : 22521049

Yogyakarta, Juni 2026

Pembimbing



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

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PRA RANCANGAN PABRIK BUTIL ASETAT DARI ASAM
ASETAT DAN BUTANOL DENGAN KAPASITAS
10.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Muhammad Azra Pranasastra

Nama : Abid Bagus Senjaya

NIM : 22521013

NIM : 22521049

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,

Tim Penguji,

Nama Lengkap : Prof Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. (.....)

Ketua

Nama Lengkap : Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng. (.....)

Anggota I

Nama Lengkap : Dr. Tintin Mutiara, S.T., M.Eng. (.....)

Anggota II

:

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

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

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat dan salam juga tidak lupa kami hanturkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW. Berkat segala nikmat tersebut, kami dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Butil Asetat dari Asam Asetat dan Butanol dengan kapasitas 10.000 Ton/Tahun” ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

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

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan baik berupa materi, semangat, dan doa yang tiada henti diberikan kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.

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

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

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 20 Juni 2026

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, kemudahan, dan kekuatan yang telah diberikan, saya akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Prarancangan Pabrik ini dengan baik. Penyelesaian Tugas Akhir ini bukan hanya menjadi penanda berakhirnya perjalanan akademik saya sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, tetapi juga menjadi awal dari perjalanan baru yang akan saya hadapi di masa mendatang. Seluruh proses yang telah dilalui memberikan banyak pelajaran berharga tentang perjuangan, ketekunan, kesabaran, dan arti penting sebuah pengorbanan.

Saya menyadari bahwa pencapaian ini tidak mungkin diraih seorang diri. Doa, dukungan, semangat, perhatian, dan kasih sayang dari orang-orang terdekat telah menjadi sumber kekuatan yang mengiringi setiap langkah perjalanan saya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang mendalam, Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada mereka yang telah memberikan arti dan kontribusi besar dalam perjalanan hidup saya, yang secara khusus saya tuangkan dalam lembar persembahan ini.

1. Bapak, terima kasih atas segala perjuangan, kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang tidak pernah berhenti diberikan hingga hari ini. Bapak adalah sosok yang selalu menjadi contoh seorang pria sejati, seorang pemimpin, dan orang tua yang luar biasa bagi penulis. Sejak dulu hingga sekarang, Bapak terus bekerja keras demi kebahagiaan dan masa depan anak-anaknya, bahkan tetap kuat menjalani semuanya seorang diri tanpa Mamak di sisi Bapak. Terima kasih karena tidak pernah lelah mendukung,

menyemangati, dan selalu hadir dalam setiap proses yang penulis lalui. Setiap pencapaian yang penulis raih hari ini tidak lepas dari doa, kerja keras, dan pengorbanan Bapak.

2. Mamak, terima kasih telah menjadi sosok perempuan hebat yang pernah hadir dalam kehidupan penulis. Mamak adalah pribadi selalu mengajarkan bahwa pendidikan merupakan bekal yang sangat berharga dalam kehidupan. Perjalanan Mamak hingga berhasil meraih gelar doktor menjadi inspirasi terbesar yang selalu penulis jadikan pedoman dalam menempuh pendidikan. Namun, takdir berkata lain. Mamak telah berpulang sebelum penulis memasuki dunia perkuliahan, sehingga seluruh cerita, perjuangan, dan proses yang penulis lalui selama kuliah tidak pernah dapat penulis ceritakan secara langsung kepada Mamak. Meskipun Mamak telah tiada, semangat, nasihat, dan semua pelajaran hidup yang Mamak berikan akan selalu hidup dalam diri penulis. Maaf karena Tugas Akhir ini tidak dapat dipersembahkan secara langsung kepada Mamak. Namun, karya ini adalah hadiah kecil dari penulis untuk Mamak, sebagai bukti bahwa semua pesan dan harapan yang Mamak titipkan terus penulis perjuangkan hingga hari ini.
3. Mas yu dan mas eja, terima kasih telah menjadi sosok abang yang selalu hadir dalam setiap perjalanan hidup penulis. Terima kasih atas semua semangat, nasihat, doa, perhatian, serta berbagai pengorbanan yang telah diberikan tanpa pernah meminta balasan. Kehadiran kalian selalu menjadi tempat bagi penulis untuk kembali menguatkan diri ketika merasa lelah.

Terima kasih karena selalu percaya bahwa penulis mampu menyelesaikan perjalanan ini.

4. Bapak Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D, terima kasih atas segala waktu, ilmu, arahan, kesabaran, serta bimbingan yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena telah membantu penulis melewati berbagai kesulitan dan memberikan banyak pelajaran yang akan menjadi bekal berharga bagi penulis di masa mendatang.
5. Azra, terima kasih telah menjadi rekan seperjuangan yang menemani penulis sejak proses Kerja Praktik, penelitian, hingga akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir ini bersama. Terima kasih karena selalu hadir dalam setiap proses, baik saat menghadapi berbagai kesulitan, kebingungan, maupun tekanan selama perjalanan akademik ini. Semoga perjalanan ini menjadi awal dari kesuksesan kita yang lebih besar di masa depan nanti.
6. JAMTEK, Terima kasih karena telah menjadi bagian yang sangat berharga dalam perjalanan perkuliahan penulis. JAMTEK bukan sekadar kegiatan ospek jurusan biasa, melainkan menjadi tempat awal penulis dipertemukan dengan teman-teman luar biasa yang saat ini tetap solid. Lebih dari sekadar sebuah kegiatan, JAMTEK menjadi wadah bagi penulis untuk belajar, berkembang, dan berproses menjadi seorang pemimpin. Banyak sekali cerita, pengalaman, dan kenangan yang tercipta di dalamnya yang mungkin tidak dapat disebutkan satu per satu. Namun, satu hal yang pasti,

JAMTEK akan selalu menjadi cerita indah yang akan terus dikenang dan diceritakan kepada banyak orang.

7. Kontrakan hhhhanjay, terima kasih karena telah menjadi sosok yang bukan lagi sekadar teman, tetapi sudah seperti keluarga bagi penulis. Dari awal hingga akhir masa perkuliahan, kita tetap bisa bersama, saling mendukung, dan menjaga kebersamaan yang hangat di tengah berbagai kesibukan masing-masing. Semua momen, tawa, cerita, dan keseruan yang pernah kita lalui bersama akan selalu menjadi kenangan berharga yang tidak akan terlupakan. Terima kasih karena telah kebersamai setiap proses perkuliahan penulis hingga akhirnya sampai di titik ini.
8. Slayer hitam 23, Terima kasih telah menjadi sahabat yang selalu hadir sejak pertama kali dipertemukan melalui JAMTEK. Dari awal pertemuan itu, kita belajar menjalani suka dan duka bersama dalam melewati berbagai proses yang tidak mudah. Hingga saat ini, kebersamaan yang terjalin masih tetap terasa begitu berarti bagi penulis. Terima kasih atas semua cerita, tawa, dukungan, dan kenangan indah yang telah menghiasi perjalanan perkuliahan ini.

Abid Bagus Senjaya

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil ‘Alamin ucapan syukur tiada henti saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang senantiasa memberikan saya nikmat-nikmat berupa kesehatan, waktu luang dan kemudahan selama penyusunan tugas akhir ini sehingga saya dapat menyelesaikannya sebagai tahap terakhir dalam perjalanan perkuliahan saya di Teknik Kimia UII.

Perjalanan yang tidak mudah ini bukanlah perjalanan yang saya lalui sendirian. Namun di setiap prosesnya, ada dukungan yang tak henti mengalir, doa yang selalu mengiringi, serta kehadiran orang-orang yang memberikan kekuatan di saat lelah dan ragu datang. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur dan hormat, tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Ayah, sosok yang selalu menjadi teladan dalam keteguhan, tanggung jawab, dan kerja keras. Terima kasih atas setiap pengorbanan, nasihat, doa, serta kasih sayang yang mungkin tidak selalu diungkapkan dengan kata-kata, tetapi senantiasa saya rasakan dalam setiap langkah kehidupan. Ayah telah mengajarkan saya untuk tidak mudah menyerah, tetap berdiri dalam kesulitan, dan terus berusaha meraih masa depan yang lebih baik
2. Ibu, perempuan hebat yang menjadi sumber kekuatan, kasih sayang, dan doa dalam kehidupan saya. Terima kasih atas cinta yang tidak pernah berkurang, kesabaran yang tidak terbatas, serta doa-doa tulus yang selalu mengiringi setiap langkah saya. Di balik keberhasilan ini terdapat pengorbanan, perhatian, dan air mata Ibu yang tidak mungkin dapat saya balas sepenuhnya.

3. Abang Diki, yang telah menjadi saudara, pelindung, sekaligus sosok yang memberikan semangat dalam perjalanan hidup saya. Terima kasih atas perhatian, dukungan, nasihat, bantuan, dan motivasi yang diberikan, baik dalam kata-kata maupun tindakan.
4. Adik Syafiq, kepada Adik, Adik tersayang yang kehadirannya selalu menjadi sumber kebahagiaan, semangat, dan warna dalam kehidupan saya. Terima kasih telah menjadi teman berbagi cerita, tawa, dan berbagai momen sederhana yang begitu berarti. Semoga pencapaian ini dapat menjadi motivasi bagi Adik untuk terus belajar, berusaha, dan berani mengejar cita-cita.
5. Bapak Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikiran dalam memberikan bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas segala ilmu, arahan, masukan, kesabaran, serta perhatian yang diberikan kepada penulis. Setiap nasihat dan evaluasi yang disampaikan telah membantu penulis dalam menghadapi berbagai kendala serta menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Abid, rekan seperjuangan dalam menyelesaikan Kerja Praktik, Penelitian, dan Prarancangan Pabrik Kimia ini. Perjalanan yang kita lalui bukanlah proses yang singkat dan mudah. Terima kasih atas waktu, tenaga, pemikiran, kesabaran, tanggung jawab, serta kerja sama yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih pula karena tetap bertahan dalam setiap kesulitan, saling melengkapi ketika terdapat kekurangan, serta

bersama-sama mencari jalan keluar ketika menghadapi perbedaan pendapat maupun kendala dalam pengerjaan.

7. teman-teman “Kontrakan Hhhanjay”, terima kasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan perkuliahan penulis. Kebersamaan, dukungan, tawa, cerita, serta berbagai pengalaman yang telah kita lalui, mulai dari kegiatan akademik dan non akademik hingga momen jalan-jalan dan berkumpul bersama, akan selalu menjadi kenangan yang berharga. Terima kasih karena telah menjadi teman sekaligus keluarga kedua yang selalu hadir dan membuat masa perkuliahan terasa lebih hidup. Semoga persahabatan dan kekompakan kita tetap terjaga meskipun nantinya masing-masing menjalani jalan yang berbeda.
8. Slayer Hitam 23, Terima kasih telah menjadi sahabat yang selalu hadir sejak pertama kali kita dipertemukan melalui kegiatan JAMTEK. Dari pertemuan tersebut, kita mulai berbagi berbagai cerita serta melewati suka dan duka dalam setiap proses perkuliahan yang tidak selalu mudah. Terima kasih atas kebersamaan, perhatian, dukungan, tawa, dan semangat yang selalu diberikan hingga penulis mampu bertahan dan sampai pada tahap ini. Setiap momen dan kenangan indah yang telah kita lalui bersama akan selalu menjadi bagian berharga dalam perjalanan perkuliahan penulis. Semoga persahabatan ini tetap terjaga meskipun kelak kita menempuh jalan dan kesibukan masing-masing.
9. Chimico Brivo 22, keluarga besar Teknik Kimia Angkatan 2022, terima kasih atas kebersamaan, kepedulian, dan rasa kekeluargaan yang telah terjalin selama masa perkuliahan. Dalam setiap kesulitan, kita selalu berusaha saling

membantu, menguatkan, dan berjuang bersama hingga akhirnya mampu bertahan sampai di tahap ini. Terima kasih atas setiap cerita, tawa, dukungan, dan kenangan yang telah menjadi bagian berharga dalam perjalanan penulis.

10. JAMTEK, terima kasih telah menjadi bagian yang sangat berarti dalam perjalanan perkuliahan penulis. JAMTEK bukan sekadar rangkaian kegiatan pengenalan jurusan, melainkan menjadi titik awal pertemuan penulis dengan teman-teman luar biasa yang hingga kini tetap menjaga kebersamaan dan kekompakan. Melalui JAMTEK, penulis memperoleh banyak kesempatan untuk belajar, berkembang, bekerja sama, serta melatih tanggung jawab dan jiwa kepemimpinan. Berbagai cerita, tantangan, pengalaman, dan kenangan telah tercipta di dalamnya, meskipun tidak semuanya dapat diungkapkan satu per satu. Bagi penulis, JAMTEK akan selalu menjadi salah satu bagian terindah dari perjalanan perkuliahan yang akan terus dikenang dan diceritakan pada masa mendatang.

11. Terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa, dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam berbagai bentuk dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Muhammad Azra Pranasastra

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
PRAKATA	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix
ABSTRAK.....	xxii
ABSTRACT	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik	2
1.2.1 Kebutuhan Butil Asetat	2
1.2.2 Peluang Kapasitas Pabrik	7
1.3 Tinjauan Pustaka.....	9
1.3.1 Butil Asetat.....	9
1.3.2 Macam-macam Proses.....	10
1.3.3 Pemilihan Proses	12
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika	14
1.4.1 Tinjauan Termodinamika.....	14
1.4.2 Tinjauan Kinetika	16
BAB II PERANCANGAN PRODUK	21
2.1 Spesifikasi Produk dan Bahan Baku	21
2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu	22
2.3 Pengendalian Kualitas	22
2.3.1 Pengendalian Kualitas Produk.....	23
2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses.....	25
BAB III PERANCANGAN PROSES	28
3.1 Diagram Alir Proses dan Material	28
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif.....	28
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	29
3.2 Uraian Proses.....	30

3.2.1 Persiapan Bahan Baku.....	30
3.2.2 Tahap Reaksi	31
3.2.3 Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk	32
3.3 Spesifikasi Alat.....	35
3.3.1 Spesifikasi Alat Proses	35
3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung	36
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan.....	41
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi	42
3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas	46
3.4 Neraca Massa	52
3.4.1 Neraca Massa <i>Mixer</i> (M-01)	52
3.4.2 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)	52
3.4.3 Neraca Massa Reaktor 2 (R-02)	52
3.4.4 Neraca Massa Filter (F-01).....	53
3.4.5 Neraca Massa <i>Rotary Dryer</i> (RD-01).....	53
3.4.6 Neraca Massa <i>Decanter</i> ((DC-01).....	53
3.4.7 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01).....	54
3.4.8 Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-01)	54
3.4.9 Neraca Massa <i>Accumulator</i> (ACC-01).....	54
3.5 Neraca Panas	55
3.5.1 Neraca Panas Reaktor 1 (R-01).....	55
3.5.2 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02).....	55
3.5.3 Neraca Panas <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	55
3.5.4 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)	55
3.5.5 Neraca Panas <i>Heater</i> 1 (HE-01).....	56
3.5.6 Neraca Panas <i>Heater</i> 2 (HE-02).....	56
3.5.7 Neraca Panas <i>Heater</i> 3 (HE-03).....	56
3.5.8 Neraca Panas <i>Cooler</i> 1 (CL-01)	56
3.5.9 Neraca Panas <i>Cooler</i> 2 (CL-02)	57
3.5.10 Neraca Panas <i>Cooler</i> 3 (CL-03)	57
3.5.11 Neraca Panas <i>Condensor</i> (CD-02).....	57
BAB IV PERANCANGAN PABRIK	58
4.1 Lokasi Pabrik.....	58
4.1.1 Faktor-faktor penentuan lokasi pabrik	59
4.2 Tata Letak Pabrik.....	62

4.2.1 Area Proses	64
4.2.2 Area Perkantoran dan Pengendalian	64
4.2.3 Area Utilitas.....	65
4.2.4 Area Pengolahan Limbah	65
4.2.5 Area Keamanan dan keselamatan	65
4.2.6 Area Fasilitas Pendukung	65
4.3 Tata Letak Alat Proses	67
4.4 Organisasi Perusahaan.....	70
4.4.1 Bentuk Perusahaan	70
4.4.2 Struktur Organisasi	72
4.4.3 Tugas dan Wewenang.....	75
4.4.4 Pengaturan Jam Kerja.....	81
4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji.....	84
4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan.....	86
BAB V UTILITAS.....	89
5.1 Unit penyedia dan pengolahan air	90
5.1.1 Unit Penyedia Air	90
5.1.2 Kebutuhan air	94
5.1.3 Unit pengolahan air	96
5.2 Unit Pembangkit <i>Steam</i>	100
5.3 Unit Pembangkit Listrik	101
5.4 Unit Penyedia Udara Tekan.....	105
5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar	105
5.6 Unit Pengolahan Limbah.....	106
5.7 Spesifikasi alat utilitas.....	107
BAB VI EVALUASI EKONOMI.....	112
6.1 Penafsiran harga peralatan.....	113
6.2 Dasar perhitungan.....	114
6.3 Komponen biaya modal (<i>Capital Investment</i>).....	115
6.3.1 Modal (<i>capital investment</i>).....	115
6.3.2 Biaya produksi (<i>manufacturing cost</i>)	117
6.3.3 Pengeluaran umum (<i>general expenses</i>)	119
6.4 Analisis Risiko Pabrik	119
6.5 Analisa Keuntungan	120
6.6 Analisa kelayakan.....	121

BAB VII PENUTUP	126
7.1 Kesimpulan.....	126
7.2 Saran.....	127
DAFTAR PUSTAKA	128
LAMPIRAN A	126
LAMPIRAN B	141
LAMPIRAN C	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Impor Butil Asetat.....	3
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif.....	24
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif.....	25
Gambar 4. 1 Peta lokasi pabrik	56
Gambar 4. 2 <i>layout</i> pabrik butil asetat dengan skala 1:1000.....	64
Gambar 4. 3 <i>layout</i> alat proses	68
Gambar 4. 4 struktur organisasi	72
Gambar 5. 1 Diagram alir utilitas.....	88
Gambar 6. 1 Grafik indeks harga	112
Gambar 6. 2 Grafik evaluasi ekonomi.....	123

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor Butil Asetat.....	3
Tabel 1. 2 Macam-macam Proses Produksi Butil Asetat.....	9
Tabel 1. 3 entalpi pembentukan standar senyawa.....	11
Tabel 1. 4 Energi Gibss Senyawa	12
Tabel 2. 1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk.....	18
Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor.....	31
Tabel 3. 2 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-01).....	32
Tabel 3. 3 Spesifikasi Filter (F-01).....	33
Tabel 3. 4 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-01).....	34
Tabel 3. 5 Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-01).....	35
Tabel 3. 6 Spesifikasi Menara Distilasi (MD-01).....	36
Tabel 3. 7 Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-01)	37
Tabel 3. 8 Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-01).....	38
Tabel 3. 9 Spesifikasi Tangki penyimpanan bahan baku	39
Tabel 3. 10 Spesifikasi silo.....	40
Tabel 3. 11 Spesifikasi pompa	40
Tabel 3. 12 Spesifikasi <i>Screw conveyor</i>	43
Tabel 3. 13 Spesifikasi <i>belt conveyor</i>	44
Tabel 3. 14 Spesifikasi <i>Blower</i>	44
Tabel 3. 15 Spesifikasi <i>Expansion valve</i>	45
Tabel 3. 16 Spesifikasi <i>heater (shell and tube)</i>	45
Tabel 3. 17 Spesifikasi <i>heater (double pipe)</i>	46
Tabel 3. 18 Spesifikasi <i>cooler (shell and tube)</i>	47
Tabel 3. 19 Spesifikasi <i>cooler (double pipe)</i>	48
Tabel 3. 20 Spesifikasi <i>condensor</i>	49
Tabel 3. 21 Neraca massa <i>Mixer</i> (M-01).....	50
Tabel 3. 22 Neraca massa Reaktor (R-01).....	50
Tabel 3. 23 Neraca massa Reaktor (R-02).....	50
Tabel 3. 24 Neraca massa Filter (F-01)	51
Tabel 3. 25 Neraca massa <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	51
Tabel 3. 26 Neraca massa <i>Decanter</i> (DC-01).....	51

Tabel 3. 27 Neraca massa Menara Distilasi (MD-01)	52
Tabel 3. 28 Neraca massa <i>Reboiler</i> (RB-01)	52
Tabel 3. 29 Neraca massa <i>Accumulator</i> (ACC-01)	52
Tabel 3. 30 Neraca panas Reaktor (R-01)	53
Tabel 3. 31 Neraca panas Reaktor (R-02)	53
Tabel 3. 32 Neraca panas <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	53
Tabel 3. 33 Neraca panas Menara Distilasi (MD-01)	53
Tabel 3. 34 Neraca panas <i>Heater</i> (HE-01)	54
Tabel 3. 35 Neraca panas <i>Heater</i> (HE-02)	54
Tabel 3. 36 Neraca panas <i>Heater</i> (HE-03)	54
Tabel 3. 37 Neraca panas <i>Cooler</i> (CL-01)	54
Tabel 3. 38 Neraca panas <i>Cooler</i> (CL-02)	55
Tabel 3. 39 Neraca panas <i>Cooler</i> (CL-03)	55
Tabel 3. 40 Neraca panas Condensor (CD-02)	55
Tabel 4. 1 perincian luas bangunan pabrik	65
Tabel 4. 2 Jadwal kerja karyawan <i>non-shift</i>	80
Tabel 4. 3 Jadwal kerja setiap kelompok <i>shift</i>	81
Tabel 4. 4 jumlah tenaga kerja dan gaji karyawan	83
Tabel 5. 1 Kebutuhan air pendingin	92
Tabel 5. 2 Kebutuhan <i>Steam</i>	92
Tabel 5. 3 Kebutuhan <i>Service water</i>	93
Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Proses	100
Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Utilitas	101
Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Perumahan	102
Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Utilitas	105
Tabel 5. 8 Spesifikasi Tangki Utilitas	106
Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak Utilitas	107
Tabel 5. 10 Spesifikasi <i>Mixing tank</i> dan <i>clarifier</i>	108
Tabel 5. 11 Spesifikasi <i>cooling tower</i> Utilitas	108
Tabel 5. 12 Spesifikasi <i>blower cooling tower</i> Utilitas	108
Tabel 5. 13 Spesifikasi <i>sand filter</i> Utilitas	109
Tabel 5. 14 Spesifikasi <i>compressor</i> Utilitas	109
Tabel 5. 15 Spesifikasi <i>boiler</i> Utilitas	109
Tabel 6. 1 <i>Physical plant cost</i> (PPC)	114

Tabel 6. 2 <i>Direct plant cost</i> (DPC)	114
Tabel 6. 3 <i>Fixed capital investment</i> (FCI)	114
Tabel 6. 4 <i>Working capital investment</i> (WCI)	115
Tabel 6. 5 <i>Direct manufacturing cost</i> (DMC)	115
Tabel 6. 6 <i>Indirect manufacturing cost</i> (IMC)	116
Tabel 6. 7 <i>Fixed manufacturing cost</i> (FMC)	116
Tabel 6. 8 <i>Total manufacturing cost</i>	116
Tabel 6. 9 <i>General expense</i> (GE)	117
Tabel 6. 10 <i>Total production cost</i>	117
Tabel 6. 11 <i>Annual Fixed Manufacturing Cost</i> (Fa)	120
Tabel 6. 12 <i>Annual regulated expenses</i> (Ra)	121
Tabel 6. 13 <i>Annual Variable Value</i> (Va)	121
Tabel 6. 14 <i>Annual sales value</i> (Sa)	121
Tabel 6. 15 Hasil Kelayakan Ekonomi	123

ABSTRAK

Butil asetat merupakan senyawa ester yang banyak digunakan sebagai pelarut pada industri cat, tinta, pelapis, perekat, farmasi, tekstil, dan kosmetik. Meningkatnya kebutuhan butil asetat di Indonesia yang masih bergantung pada impor menjadi dasar perancangan pabrik butil asetat dari asam asetat dan n-butanol dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinu selama 330 hari per tahun dan berlokasi di Kawasan Industri Kendal, Jawa Tengah. Proses produksi dilakukan melalui reaksi esterifikasi menggunakan katalis heterogen Amberlyst-15 pada dua reaktor alir tangki berpengaduk kontinu (CSTR) yang disusun seri pada kondisi operasi 93°C dan tekanan 1 atm. Tahapan proses meliputi persiapan bahan baku, reaksi, serta pemisahan dan pemurnian produk hingga diperoleh butil asetat dengan kemurnian 99,5%. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan dengan keuntungan sebesar Rp43.890.831.120 per tahun, *Return on Investment* (ROI) sebesar 20%, *Pay Out Time* (POT) selama 4 tahun, *Break Even Point* (BEP) sebesar 44%, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 22%, dan *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 19,68%. Berdasarkan hasil evaluasi teknis dan ekonomis, pabrik butil asetat ini dinyatakan layak untuk direalisasikan.

Kata kunci: butil asetat, esterifikasi, Amberlyst-15, CSTR, analisis ekonomi.

ABSTRACT

Butyl acetate is an ester compound widely used as a solvent in the paint, ink, coating, adhesive, pharmaceutical, textile, and cosmetic industries. The increasing domestic demand for butyl acetate in Indonesia, which is still dependent on imports, forms the basis for designing a butyl acetate plant from acetic acid and n-butanol with a capacity of 10,000 tons per year. The plant is planned to operate continuously for 330 days per year and will be located in Kendal Industrial Estate, Central Java. The production process is carried out through an esterification reaction using Amberlyst-15 heterogeneous catalyst in two Continuous Stirred Tank Reactors (CSTR) arranged in series at 93°C and 1 atm. The process consists of raw material preparation, reaction, and product separation and purification to obtain butyl acetate with a purity of 99.5%. Economic analysis indicates that the plant is economically feasible, with an annual profit of Rp43,890,831,120, a Return on Investment (ROI) of 20%, a Pay Out Time (POT) of 4 years, a Break Even Point (BEP) of 44%, a Shut Down Point (SDP) of 22%, and a Discounted Cash Flow Rate (DCFR) of 19.68%. Based on technical and economic evaluations, the proposed butyl acetate plant is considered feasible to be established.

Keywords: *butyl acetate, esterification, Amberlyst-15, CSTR, economic analysis.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi mempengaruhi pertumbuhan dari sektor industri kimia di Indonesia. kebutuhan bahan baku petrokimia di dalam negeri terus mengalami peningkatan setiap tahun, sedangkan produksi dalam sangat terbatas. Hal ini dibuktikan dengan impor bahan baku industri yang cukup banyak. Menurut Badan Pusat Statistik di tahun 2024 Indonesia melakukan impor bahan baku industri sebesar 8 juta ton mengalami kenaikan dari tahun sebelumnya, yang dimana di tahun 2023 Indonesia melakukan impor sebesar 6 juta ton. meningkatnya jumlah kebutuhan konsumsi tidak diiringi dengan produksi bahan kimia dalam negeri, sehingga negara harus melakukan impor bahan baku dari negara negara produsen yang sudah maju dan nilai impor akan terus meningkat. Salah satu industri kimia di Indonesia yang sampai saat ini masih kurang mencukupi kebutuhan konsumsi dalam negeri adalah industri butil asetat.

Butil asetat merupakan pelarut penting dalam industri kimia yang mempunyai rumus kimia $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ atau $\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$. Butil asetat merupakan produk yang berpotensi untuk dikembangkan karena kegunaannya yang luas. Butil asetat dengan rumus kimia $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$ merupakan pelarut penting dalam industri kimia dengan titik didih tinggi dan polaritas sedang. Butil asetat banyak digunakan sebagai pelarut aktif untuk bahan pembentuk film former seperti selulosa nitrat, selulosa asetobutirat, etil selulosa, karet terklorinasi,

polistirena dan resin metakrilat. Sebagai lapisan pelindung, butil asetat dapat digunakan sebagai pelarut pada kerajinan kulit sintesis, tekstil, farmasi, industri plastic, dan lain sebagainya. Kegunaan lainnya adalah sebagai bahan pewangi dan sebagai komponen aroma sintetik seperti aprikot, pisang, pir, nanas, delima, dan raspberry (Mc Ketta, 1977).

Melihat kegunaan dari butil asetat yang sangat beragam, maka diperkirakan kebutuhan butil asetat di Indonesia akan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Pendirian pabrik butil asetat ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan impor dari luar negeri yang dapat menekan devisa negara serta menyediakan lapangan kerja baru. Pendirian pabrik butil asetat ini diharapkan dapat mendorong berkembangnya industri lain yang menggunakan butil asetat sebagai bahan baku di dalam prosesnya

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

1.2.1 Kebutuhan Butil Asetat

Analisis kebutuhan butil asetat di Indonesia dapat dilakukan melalui data impor dalam beberapa tahun terakhir. Indonesia terus mengimpor butil asetat dalam jumlah besar untuk memenuhi permintaan domestik, menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS).

a. Data Impor Butil Asetat di Indonesia

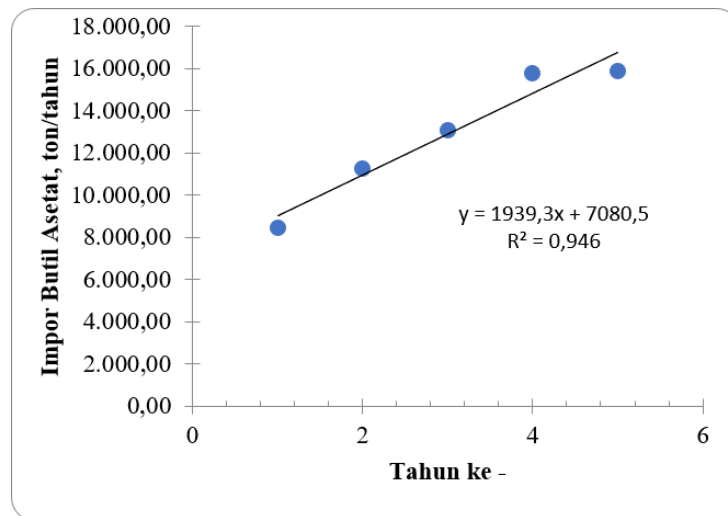
Permintaan butil asetat di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat namun, selama ini hanya terpenuhi sebagian dikarenakan produksi butilasetat di Indonesia terbatas, sehingga untuk memenuhi kebutuhan produk butil asetat di peroleh dari hasil impor. Dilihat dari data impor 2020 s/d 2024, penggunaan butil asetat terus menunjukkan peningkatan.

Tabel 1. 1 Data Impor Butil Asetat

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2020	8.457,17
2021	11.267,05
2022	13.084,01
2023	15.793,32
2024	15.890,58

Dari data tabel tersebut dapat dibuat grafik antara tahun (x) dan jumlah produksi (y).

Grafik dapat dilihat pada :



Gambar 1. 1 Grafik Impor Butil Asetat

Berdasarkan Gambar 1.1 terlihat bahwa kebutuhan impor butil asetat di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Dari Gambar 1.1 didapatkan persamaan :

$$y = 1939,3x - 7080,5$$

dengan y adalah Impor butil asetat dan x adalah Tahun ke-n Dengan menggunakan persamaan diatas, dapat diproyeksikan impor butil asetat di indonesia pada tahun 2031 sebesar **16.777 Ton/tahun**.

1.2.2 Peluang Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas pabrik butil asetat didasarkan pada data impor butil asetat di Indonesia selama periode 2020–2024. Data tersebut menunjukkan bahwa volume impor mengalami tren peningkatan, yaitu dari 8.457,17 ton/tahun pada tahun 2020 menjadi 15.890,58 ton/tahun pada tahun 2024.

Berdasarkan hasil regresi linier diperoleh persamaan $y = 1939,3x + 7080,5$, sehingga kebutuhan impor butil asetat pada tahun 2031 diproyeksikan mencapai 16.777 ton/tahun.

Proyeksi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan butil asetat di Indonesia masih banyak dipenuhi melalui impor sehingga peluang pendirian pabrik dalam negeri masih terbuka. Pabrik yang dirancang diharapkan dapat menggantikan sebagian kebutuhan impor (import substitution), sehingga mampu mengurangi ketergantungan terhadap produk luar negeri sekaligus meningkatkan ketersediaan butil asetat untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri.

Berdasarkan proyeksi impor tahun 2031 dan dengan mempertimbangkan kapasitas komersial pabrik butil asetat yang telah beroperasi di dunia, dipilih kapasitas pabrik sebesar **10.000 ton/tahun**. Kapasitas tersebut berada di bawah proyeksi impor sehingga masih memiliki peluang pasar yang baik, serta berada di atas kapasitas komersial minimum sehingga dinilai layak secara teknis dan ekonomis.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Butil Asetat

Butil asetat merupakan senyawa ester yang terbentuk dari reaksi esterifikasi antara asam asetat dan butanol. Senyawa ini memiliki rumus molekul $C_6H_{12}O_2$ dan termasuk dalam golongan ester alifatik yang banyak digunakan sebagai pelarut industri. Butil asetat dikenal sebagai *medium boiling solvent* karena memiliki titik didih yang cukup tinggi sehingga mampu memberikan keseimbangan antara laju penguapan dan kemampuan pelarutan resin (McKetta, 1977). Rumus struktur butil asetat dapat dituliskan sebagai $CH_3-COO-C_4H_9$, atau $CH_3-CO-O-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$. Struktur ini menyebabkan butil asetat memiliki sifat semi-polar sehingga mampu melarutkan berbagai resin industri, seperti nitroselulosa dan resin metakrilat (McKetta, 1977).

Secara umum, reaksi pembentukan butil asetat berlangsung melalui reaksi esterifikasi Fischer yang bersifat reversibel, dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Keyes, 1957):



Karena reaksi ini merupakan reaksi kesetimbangan, keberadaan air sebagai produk reaksi dapat menurunkan konversi ester, sehingga dalam proses industri air biasanya dipisahkan untuk menggeser reaksi ke arah pembentukan butil asetat (Kirk & Othmer, 1979). Butil asetat memiliki sifat fisika yang mendukung penggunaannya sebagai pelarut, antara lain titik didih sekitar $126^\circ C$, tekanan uap sedang, serta bau khas menyerupai buah.

Senyawa ini banyak digunakan dalam industri cat, coating, tinta cetak, dan perekat karena mampu melarutkan berbagai resin seperti nitroselulosa, selulosa

asetat butirat, dan resin metakrilat serta menghasilkan lapisan film yang cepat kering tanpa cacat. Selain itu, butil asetat juga digunakan sebagai pelarut ekstraksi dalam industri farmasi dan kimia halus serta sebagai komponen aroma sintetis dengan karakter buah-buahan seperti pisang dan nanas (Gracey & Norbat, 2002). Meningkatnya penggunaan butil asetat di berbagai sektor industri menyebabkan kebutuhan senyawa ini terus meningkat, sementara pemenuhan kebutuhan dalam negeri masih bergantung pada impor, sehingga pendirian pabrik butil asetat di Indonesia memiliki prospek yang baik (Zakaria, 2004).

1.3.2 Macam-macam Proses

Reaksi esterifikasi antara asam asetat dan n-butanol merupakan reaksi kesetimbangan yang menghasilkan n-butil asetat dan air sebagai produk samping. Karena bersifat reversibel, pemilihan proses operasi sangat berpengaruh terhadap konversi reaksi, kemurnian produk, serta efisiensi energi (Kirk & Othmer, 1979). Secara umum, proses esterifikasi dapat dilakukan melalui tiga proses utama, yaitu proses batch, proses kontinyu, dan proses *reactive distillation*.

a. Proses Batch

Pada proses batch, seluruh bahan baku berupa asam asetat dan n-butanol dimasukkan ke dalam reaktor tertutup pada awal operasi. Campuran reaktan kemudian dipanaskan hingga suhu reaksi dan diaduk secara kontinu selama waktu tertentu. Untuk meningkatkan laju reaksi esterifikasi, digunakan katalis asam homogen, umumnya asam sulfat (H_2SO_4), yang ditambahkan langsung ke dalam reaktor (Keyes, 1957).

Katalis homogen memiliki aktivitas katalitik yang tinggi karena terdistribusi merata dalam fasa cair. Namun, selama operasi batch, air hasil reaksi

tetap berada di dalam sistem hingga akhir reaksi, sehingga reaksi dibatasi oleh kesetimbangan kimia dan konversi maksimum relatif terbatas (McKetta, 1977). Selain itu, penggunaan katalis asam homogen menimbulkan permasalahan korosi dan memerlukan tahap netralisasi serta pemisahan katalis pada unit hilir proses (Kirk & Othmer, 1979).

b. Proses Kontinyu

Proses kontinyu dilakukan dengan mengalirkan asam asetat dan n-butanol secara terus-menerus ke dalam reaktor, sementara produk dikeluarkan secara simultan. Reaktor yang umum digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) atau Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR), karena mampu memberikan pencampuran yang baik dan pengendalian suhu yang stabil (McKetta, 1977).

Pada proses kontinyu modern, reaksi esterifikasi dapat menggunakan katalis asam heterogen berbasis resin penukar ion, seperti Amberlyst-15, yang ditempatkan di dalam reaktor CSTR sebagai katalis tersuspensi atau unggun terdispersi (Sundmacher & Kienle, 2003). Penggunaan Amberlyst-15 bertujuan untuk mengurangi masalah korosi serta mempermudah pemisahan katalis dari produk dibandingkan katalis asam homogen. Meskipun sistem kontinyu memungkinkan operasi yang stabil dan kapasitas produksi yang lebih besar dibandingkan proses batch, reaksi esterifikasi tetap dibatasi oleh kesetimbangan kimia. Oleh karena itu, diperlukan unit pemisahan tambahan, seperti kolom distilasi, untuk memisahkan air dan produk ester guna meningkatkan perolehan butil asetat (Kirk & Othmer, 1979).

c. Proses *Reactive Distillation*

Reactive distillation merupakan proses terintegrasi yang menggabungkan reaksi esterifikasi dan pemisahan distilasi dalam satu kolom. Pada proses ini, asam asetat dan n-butanol diumpankan ke dalam kolom distilasi reaktif yang dilengkapi dengan katalis asam heterogen Amberlyst-15 pada zona reaktif kolom (Taylor & Krishna, 2000). Katalis ditempatkan pada tray reaktif atau dalam bentuk catalytic packing, sehingga reaksi dan pemisahan berlangsung secara simultan. Air yang terbentuk sebagai produk samping langsung dipisahkan melalui perbedaan volatilitas, sehingga kesetimbangan reaksi bergeser ke arah pembentukan ester dan konversi reaksi meningkat secara signifikan (Doherty & Malone, 2001).

Keunggulan utama proses *reactive distillation* adalah berkurangnya kebutuhan unit operasi terpisah, meningkatnya konversi dan kemurnian produk, serta lebih rendahnya konsumsi energi secara keseluruhan. Namun, proses ini memerlukan perancangan dan pengendalian operasi yang lebih kompleks, terutama dalam pengaturan suhu, tekanan, serta distribusi katalis di dalam kolom distilasi (Sundmacher & Kienle, 2003).

1.3.3 Pemilihan Proses

Tabel 1. 5 Macam-macam Proses Produksi Butil Asetat

Parameter	Proses Batch	Proses Kontinyu	Proses <i>Reactive Distillation</i>
Jenis Reaktor	Reaktor batch berpengaduk	RATB / CSTR	Kolom distilasi reaktif
Katalis	Asam sulfat (H_2SO_4) – homogen	Amberlyst-15 – heterogen	Amberlyst-15 – heterogen
Fase Reaksi	Cair–cair	Cair–cair	Cair–uap
Suhu Operasi	175–220 °C	90–100 °C	90–130 °C
Tekanan Operasi	1 atm	1 atm	1-2 atm

Tabel 1. 5 Macam-macam Proses Produksi Butil Asetat(Lanjutan)

Kemurnian Produk	75–85%	95%	96-98%
Konversi Reaksi	Sedang	Sedang-tinggi	Tinggi
Jumlah Unit Operasi	Banyak	Cukup banyak	Lebih sedikit
Kompleksitas Operasi	Rendah	Sedang	Tinggi
Skala Produksi	Kecil–menengah	Menengah-besar	Besar

Proses yang dipilih untuk pembuatan butil asetat adalah proses kontinyu menggunakan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB/CSTR) dengan katalis Amberlyst-15. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan kestabilan operasi, kemudahan pengendalian, serta kesesuaian proses untuk produksi skala industri menengah hingga besar. Pada proses kontinyu, asam asetat dan n-butanol diumpankan secara terus-menerus ke dalam reaktor CSTR, sementara produk reaksi dikeluarkan secara simultan. Amrit Pal Toor, dkk juga menjelaskan bahwa pada proses ini dengan rasio mol tertentu dapat meningkatkan konversi hingga 95%. Sistem ini memungkinkan kondisi operasi yang stabil, baik dari segi suhu, komposisi, maupun waktu tinggal reaksi, sehingga mutu produk yang dihasilkan lebih seragam dan cocok untuk digunakan untuk kapasitas skala industri dibandingkan proses batch. Reaksi esterifikasi tetap bersifat kesetimbangan, namun keterbatasan ini dapat dikendalikan melalui pengaturan kondisi operasi dan unit pemisahan lanjutan.

Katalis yang digunakan adalah Amberlyst-15, yaitu resin penukar ion asam kuat yang bersifat heterogen. Katalis ini memiliki aktivitas katalitik yang tinggi untuk reaksi esterifikasi dan stabil pada kondisi operasi proses kontinyu. Karena

bersifat heterogen, Amberlyst-15 tidak larut dalam campuran reaksi sehingga lebih mudah dipisahkan dari produk dibandingkan katalis asam homogen

Kami memilih proses dengan katalis tersebut karena memiliki keuntungan sebagai berikut :

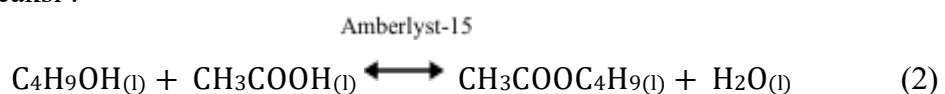
- Operasi lebih stabil
- Ramah terhadap peralatan (tidak menimbulkan korosi)
- Kemudahan pemisahan katalis
- Efisiensi proses lebih baik
- Cocok untuk skala industri
- Dapat digunakan kembali (recycle)

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika merupakan pendekatan untuk menganalisis karakteristik suatu reaksi kimia, meliputi penentuan sifat panas reaksi apakah bersifat eksotermis atau endotermis, serta kecenderungan reaksi untuk berlangsung secara reversibel atau irreversibel. Analisis ini dilakukan melalui perhitungan perubahan entalpi total reaksi (ΔH_{reaksi}) (Yaws C.L., 1999).

Reaksi :



Harga ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 1. sebagai berikut .

Tabel 1. 6 entalpi pembentukan standar senyawa

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)
C ₄ H ₉ OH	-274,6
CH ₃ COOH	-434,8
CH ₃ COOC ₄ H ₉	-485,3
H ₂ O	-241,8

Berdasarkan data tersebut, dapat dilakukan perhitungan enthalpi reaksi pembentukan butil asetat menggunakan rumus:

$$\Delta H^{\circ}R(298K) = \Delta H_f^{\circ}\text{produk} - \Delta H_f^{\circ}\text{reaktan} \quad (3)$$

Sehingga, enthalpi reaksi standar butil asetat yaitu:

$$\Delta H^{\circ}R(298 K) = -17,7 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi keseluruhan dari proses pembuatan butil asetat merupakan reaksi eksotermis dengan didapatkan nilai $\Delta H = -17,7 \text{ kJ/mol}$ yang berarti reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi. Konstanta kesetimbangan (K) dibutuhkan untuk mengetahui apakah reaksi berjalan dengan searah atau tidak searah (reversible/irreversible). Hal ini dapat ditinjau dari ΔG reaksi pada suhu 298 K. Dimana ΔG untuk reaksi pembentukan butil asetat diketahui :

Tabel 1. 7 Energi Gibbs Senyawa

Komponen	Harga ΔG_f° (kJ/mol)
C_4H_9OH	-150,2
CH_3COOH	-382,9
$CH_3COOC_4H_9$	-382,9
H_2O	-228,6

$$\Delta G^{\circ}R \text{ (at 298 K)} = \Sigma(n\Delta G_f) \text{ produk} - \Sigma(n\Delta G_f) \text{ reaktan}$$

$$= 7,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^{\circ}R \text{ (298 K)} = -R.T.\ln K$$

$$\begin{aligned} \ln K \text{ (298 K)} &= \frac{-\Delta G^{\circ}R \text{ 298K}}{-R.T} \\ &= \frac{-(-7800 \text{ J/mol})}{8,314 \cdot 298 \text{ K}} \\ &= 3,148244 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\int_{k_0}^{k_1} d.\ln k = \frac{\Delta H_r}{R} \int_{k_0}^{k_1} \frac{1}{T^2} dT$$

$$\ln \frac{K(T \text{ operasi})}{K(298 K)} = \frac{\Delta H_r}{R} \left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right|$$

$$\ln K_{366,15 K} - \ln K_{298 K} = \frac{\Delta H_r}{R} \left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right|$$

$$\ln K_{366,15 K} - 3,148244 = \frac{-17.700}{8,314} \left| \frac{1}{366,15} - \frac{1}{298} \right|$$

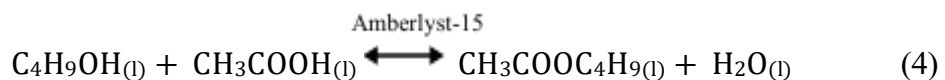
$$\ln K_{366,15 K} = 6,16288$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai konstanta kesetimbangan pada kondisi suhu operasi (K) lebih dari 1, sehingga reaksi tersebut dapat berjalan secara spontan serta reaksi cenderung ke arah pembentukan butil asetat. Maka dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan butil asetat dari asam asetat dan butanol merupakan reaksi dua arah (*reversible*).

Selain disimpulkan dari hasil perhitungan termodinamika untuk menentukan nilai K, penentuan arah reaksi juga dibuktikan berdasarkan percobaan Janowsky et al. (1997), pada reaksi esterifikasi *n*-butanol dengan asam asetat menggunakan katalis cairan ionik asam. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa reaksi pembentukan butil asetat merupakan reaksi dua arah (*reversible*) dengan nilai konstanta kesetimbangan pada suhu operasi yang digunakan (K) sebesar 12,3915.

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Reaksi esterifikasi yang terjadi antara asam asetat dan *n*-butanol merupakan reaksi bolak-balik (*reversibel*) yang berlangsung dalam fase cair serta dapat dipercepat menggunakan katalis resin penukar kation, seperti Amberlyst-15. Reaksi ini menghasilkan butil asetat dan air, dan secara umum dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi berikut:



Secara umum, hubungan laju reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius :

$$k = A \exp \frac{E}{-RT} \quad (5)$$

Dimana :

k = Konstanta laju reaksi

A = Faktor pre-eksponensial ($5 \times 10^7 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}\text{s}^{-1}$)

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

R = Konstanta gas ($8,314\text{ J/mol.K}$)

T = Suhu absolut ($126\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 400 k

Berdasarkan persamaan tersebut, semakin tinggi suhu suatu reaksi, maka akan semakin besar nilai konstanta kecepatan reaksi dan semakin cepat juga reaksi tersebut berjalan. Ditinjau dari kinetika reaksi antara asam asetat dengan n-Butanol termasuk reaksi orde 2. Toor *et al.* (2011) melakukan kajian kinetika terhadap reaksi ini dengan memanfaatkan katalis heterogen Amberlyst-15.

a. Konstanta Laju Reaksi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mekanisme reaksi mengikuti model kinetika orde dua semu serta tidak dipengaruhi oleh hambatan perpindahan massa, baik secara eksternal maupun internal. Namun, dalam kondisi reaktan berlebih, sehingga persamaan kinetika ini dapat disederhanakan menjadi orde satu semu untuk memudahkan perhitungan (Toor et al., 2011):

$$r_A = k_1 w [C_A][C_B] \quad (6)$$

Ketika resistensi eksternal dan internal terhadap massa transfer tidak ada, berikut ini berlaku

$$\frac{1}{k_1(w)[C_A][C_B]} \gg \frac{1}{k_{LSA}a_s[C_A]} \text{ and } \frac{1}{k_{LSB}a_s[C_B]} \quad (7)$$

Dengan mendefinisikan konversi asam asetat sebagai X_a , persamaan laju reaksi terintegrasi dapat dituliskan dalam bentuk logaritmik sebagai berikut (Toor et al., 2011) :

$$\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1-X_A)(M-X_A)} = C_{A0} w k_1 \int_0^t dt \quad (8)$$

Setelah mengintegrasikan persamaan 3 menjadi :

$$\ln \frac{M-X_A}{M(1-X_A)} = k_1 C_{A0} w (M-1)t \quad (9)$$

Dengan memasukkan $C_{AW}(M-1) k_1 = k$ dalam persamaan 4 kita mendapatkan :

$$\ln \frac{M - X_A}{M(1 - X_A)} = kt \text{ dengan } k = \frac{k'}{M} \quad (10)$$

Keterangan :

M : rasio molar n-butanol terhadap asam asetat

X_A : konversi fraksional asam asetat

t : waktu reaksi (menit)

k : nilai konstanta laju reaksi

Pada kondisi operasi suhu 366,15 K, rasio molar reaktan 1:5, dan konsentrasi katalis sebesar 112,2 kg/m³, nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$k = 2,6 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

a. Konversi Reaksi

Menurut Gangadwala et al., (2003), proses konversi mencapai 60% dengan rasio molar 1:1 antara asam asetat dan butanol. Rasio molar bisa

ditingkatkan sampai 1:5 dengan tingkat konversi mencapai 80% pada reaksi kedua dalam waktu 50 menit. Konversi ini bisa meningkat dari 50% sampai 80% dalam waktu 90 menit, mulai dari rasio molar 1:1 hingga 1:3 antara asam asetat dan butanol.

Pada penelitian Toor et al., 2011 juga menjelaskan bahwa pada saat reaksi berlangsung selama 90 menit, diperoleh tingkat konversi reaksi sebesar 93% untuk perbandingan molar asam asetat dan butanol 1:3. Dalam kondisi yang sama, yaitu waktu reaksi 90 menit, konversi reaksi meningkat lebih dari 95% ketika perbandingan molar asam asetat dan butanol diubah menjadi 1:5. Dari hasil pengamatan tersebut dapat disimpulkan bahwa efisiensi reaksi akan meningkat jika

menggunakan perbandingan molar asam asetat dan alkohol dengan jumlah alkohol yang lebih banyak.

Konstanta kesetimbangan didefinisikan sebagai perbandingan konsentrasi produk terhadap konsentrasi reaktan pada kondisi setimbang, yaitu

$$K_e = \frac{C_C C_D}{C_A C_B} \quad (10)$$

Untuk menurunkan hubungan antara konstanta kesetimbangan dan konversi reaktan, dilakukan analisis stoikiometri berdasarkan kondisi mula-mula reaksi, perubahan selama reaksi berlangsung, dan kondisi setimbang. Dengan mensubstitusikan konsentrasi setimbang tersebut ke dalam persamaan konstanta kesetimbangan, diperoleh :

$$K_e = \frac{(C_{A0}X_A)(C_{A0}X_A)}{(C_A(1-X_A)(C_{B0}-C_{A0}X_A)} \quad (11)$$

$$K_e = \frac{(X_A^2)}{(1-X_A)\left(\frac{C_{B0}}{C_{A0}}-X_A\right)} \quad (12)$$

Pada perancangan pabrik ini digunakan rasio mol reaktan sebesar 5 : 1, sehingga nilai $M = 5$. Persamaan konstanta kesetimbangan dapat dituliskan menjadi:

$$K_e = \frac{X_A^2}{(1-X_A)(5-X_A)} \quad (12)$$

$$12,915 = \frac{X_A^2}{(1-X_A)(5-X_A)}$$

$$X_{Ae} = 0,9807$$

Nilai ini menunjukkan bahwa secara teoritis konversi maksimum reaktan A yang dapat dicapai berdasarkan kesetimbangan kimia adalah sebesar 98,07%. Namun, dalam perancangan pabrik kimia, konversi operasi umumnya ditetapkan lebih rendah dari konversi kesetimbangan untuk mempertimbangkan faktor non-

ideal seperti keterbatasan laju reaksi, kondisi operasi kontinyu, dan aspek keselamatan proses.

Oleh karena itu, pada perancangan ini konversi reaksi ditetapkan sebesar 95% dari konversi kesetimbangan, sehingga konversi reaktan A yang digunakan dalam perhitungan desain pabrik adalah:

$$X_A = 0,9807 \times 0,95$$

$$X_A = 0,93$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka konversi reaksi yang digunakan dalam perancangan pabrik butil asetat ini adalah sebesar 93%.

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk dan Bahan Baku

Tabel 2. 1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Sifat Fisis	Bahan Baku		Produk	
	Asam Asetat	Butanol	Butil Asetat	Air
Rumus Molekul ^(d)	C ₂ H ₄ O ₂	C ₄ H ₉ OH	C ₆ H ₁₂ O ₂	H ₂ O
Berat Molekul (g/mol) ^(a)	60,053	74,123	116,160	18,015
Fasa ^(d)	Cair	Cair	Cair	Cair
Warna ^(d)	Tidak Berwara	Tidak Berwara	Tidak Berwara	Tidak Berwara
<i>Specific Graviti</i> ^(a)	1,049	0,810	0,882	1
Titik didih (°C) ^(a)	117,9	117,66	126	100
Titik beku (°C) ^(a)	16,66	-89,3	-73,5	0
Titik kritis (°C) ^(a)	319,56	289,78	306,5	373,98
Tekanan kritis (bar) ^(a)	57,86	44,13	31,1	220,55
Kemurnian (%berat)	99,8 ^(e)	99,5 ^(b)	99,5 ^(c)	-
Densitas (g/cm ³) ^(a)	1,043	0,806	0,876	1,027
Viskositas (cP) ^(a)	1,132	2,599	0,677	0,911
Kapasitas panas (J/mol.K) ^(a)	128,66	205,27	225,11	75,55
Konduktivitas (W/m.K) ^(a)	0,1584	0,1552	0,1373	0,607
ΔHf (Kj/mol) ^(a)	-434,84	-274,43	-485,6	-241,8
ΔG (Kj/mol) ^(a)	-382,9	-150,2	312,3	-228,6
Solubility in water (Kg/L) ^(a)	miscible	0,0746	0,0068	miscible

Sumber :

^(a)Yaws (1999)

^(b)PT. Petro Oxo Nusantara (2026)

^(c)BP Petronas Acetyls (2026)

^(d)pubchem

^(e)Lotte Ineos Chemical

2.2 Spesifikasi Bahan Pembantu

Bahan pembantu yang digunakan adalah amberlyst-15 sebagai katalis reaksi. Berdasarkan data dari (Dow Chemical Company, 2020), spesifikasi amberlyst-15 adalah sebagai berikut :

- Rumus Molekul : $(C_{10}H_{10})_m (C_8H_8O_3S)_n$
- Fase : Padat
- Bentuk : Granular
- Ukuran partikel :
 - Uniformity coefficient : $\leq 1,70$
 - Harmonic mean size : 0,600 to 0,850 mm
 - Fines content : $< 0,355$ mm : 1,0% max
 - Coarse beads : $> 1,180$ mm : 5,0% max
- Luas Permukaan : 53 m²/g
- Diameter pori rata-rata : 300 Å
- Total volume pori : 0,4 ml/g
- Temperatur maksimum : 120 °C (250 °F)
- Laju alir operasi : 1 sampai 5 BV*/h (LHSV)
- Batasan penurunan tekanan : 1 bar (15 psig)

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan sebelum proses produksi dimulai dengan tujuan untuk menilai karakteristik mutu bahan, membandingkannya dengan spesifikasi atau persyaratan yang telah ditetapkan, serta menetapkan tindakan perbaikan yang tepat apabila terdapat penyimpangan antara kondisi aktual dan standar, sehingga produk yang dihasilkan dapat memenuhi kepuasan konsumen.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Produk

Pengendalian kualitas produk bertujuan untuk memastikan bahwa produk butil asetat yang dihasilkan memiliki mutu sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan. Pengendalian ini dilakukan secara bertahap mulai dari pengawasan mutu bahan baku, bahan pembantu, hingga produk akhir. Dengan demikian, setiap tahapan produksi dapat diawasi untuk mencegah terjadinya penyimpangan mutu yang dapat mempengaruhi kualitas produk.

a. Pengendalian mutu bahan baku

Pengawasan mutu bahan baku dilakukan terhadap bahan utama yang digunakan dalam proses produksi, yaitu butanol dan asam asetat. Bahan baku yang diterima dari pemasok harus memenuhi spesifikasi kemurnian yang telah ditetapkan, yaitu butanol dengan kemurnian sekitar 99,5% dan asam asetat dengan kemurnian sekitar 99,8%.

Pengujian bahan baku dilakukan di laboratorium pengendalian kualitas sebelum bahan tersebut digunakan dalam proses produksi. Apabila hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan baku tidak memenuhi persyaratan mutu, maka bahan tersebut tidak digunakan dan dikembalikan kepada pemasok.

b. Pengendalian mutu bahan pembantu

Selain bahan baku utama, bahan pembantu juga memegang peranan penting dalam keberhasilan proses produksi. Salah satu bahan pembantu yang digunakan adalah katalis resin Amberlyst-15. Pengendalian mutu katalis dilakukan untuk memastikan bahwa katalis

memiliki karakteristik sesuai spesifikasi, seperti kapasitas pertukaran ion, ukuran partikel, dan kondisi fisik katalis.

Pemeriksaan katalis dilakukan sebelum digunakan dalam reaktor. Katalis yang tidak memenuhi spesifikasi dapat menurunkan laju reaksi, mengurangi konversi, serta mempengaruhi kemurnian produk. Oleh karena itu, pengendalian kualitas bahan pembantu dilakukan secara ketat agar proses produksi dapat berjalan secara optimal.

c. Pengendalian mutu produk

Produk butil asetat yang dihasilkan dari proses produksi harus diuji kualitasnya untuk memastikan bahwa produk tersebut memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian mutu produk dilakukan terhadap parameter utama seperti kemurnian, densitas, titik didih, warna, dan kandungan air.

Pengujian ini dilakukan secara berkala di laboratorium pengendalian kualitas. Apabila hasil pengujian menunjukkan bahwa mutu produk tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, maka dilakukan evaluasi terhadap kondisi operasi proses produksi. Produk yang tidak memenuhi standar mutu tidak langsung dipasarkan dan dapat diproses kembali atau dipisahkan sebagai produk tidak layak jual.

d. Pengendalian kualitas produk selama pemindahan dan penyimpanan

Pengendalian kualitas produk tidak hanya dilakukan pada saat proses produksi, tetapi juga selama tahap pemindahan dan penyimpanan produk. Pemindahan produk dari tangki penyimpanan ke alat transportasi,

seperti truk tangki atau kapal, harus dilakukan dengan memperhatikan kebersihan dan kondisi peralatan agar tidak terjadi kontaminasi.

Selain itu, kondisi penyimpanan produk juga harus dijaga agar tidak terjadi penurunan kualitas akibat perubahan suhu, tekanan, atau paparan lingkungan.

2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses

Pengendalian kualitas proses bertujuan untuk menjaga agar seluruh rangkaian proses produksi berjalan sesuai dengan kondisi operasi yang telah direncanakan. Proses produksi merupakan aktivitas utama dalam industri kimia, sehingga kestabilan dan kelancaran proses sangat menentukan mutu produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian proses yang terintegrasi dan berkelanjutan. Pengendalian kualitas proses dilakukan dengan memantau variabel-variabel penting dalam proses produksi, seperti laju alir bahan baku, suhu, tekanan, dan level cairan. Pengendalian ini bertujuan agar proses berlangsung secara efektif dan efisien serta menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten.

Pengawasan proses dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol otomatis yang terpusat di ruang kontrol. Sistem ini dilengkapi dengan berbagai instrumen pengukur dan pengendali yang memiliki nilai acuan (set point). Apabila terjadi penyimpangan dari kondisi operasi yang ditetapkan, sistem kontrol akan memberikan sinyal peringatan berupa indikator visual maupun alarm suara. Penyimpangan kondisi proses dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti bahan baku yang terkontaminasi, kerusakan peralatan, atau kesalahan operasi. Oleh karena itu, hasil pemantauan dari instrumen kontrol digunakan sebagai dasar untuk melakukan tindakan korektif agar proses dapat kembali berjalan normal.

Beberapa jenis alat pengendalian yang umum digunakan dalam proses produksi antara lain:

a. Pengendalian level

Pengendalian level digunakan untuk mengatur ketinggian cairan di dalam tangki atau peralatan proses. Alat ini bekerja dengan mendeteksi perubahan level cairan dan mengirimkan sinyal ke katup pengendali untuk membuka atau menutup aliran secara otomatis.

b. Pengendalian laju alir

Pengendalian laju alir berfungsi untuk mengatur jumlah aliran bahan baku dan produk yang masuk maupun keluar dari suatu unit proses. Alat ini dipasang pada jalur aliran utama untuk memastikan laju alir sesuai dengan kebutuhan proses.

c. Pengendalian temperatur

Pengendalian temperatur digunakan untuk menjaga suhu operasi pada setiap unit proses agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan. Sensor temperatur, seperti termokopel, digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu dan mengirimkan sinyal ke sistem kontrol.

d. Pengendalian rasio

Pengendalian rasio digunakan untuk menjaga perbandingan aliran bahan baku agar sesuai dengan rasio yang telah ditentukan. Sistem ini umumnya dihubungkan dengan pengendali laju alir untuk memastikan komposisi umpan tetap konstan.

e. Pengendalian tekanan

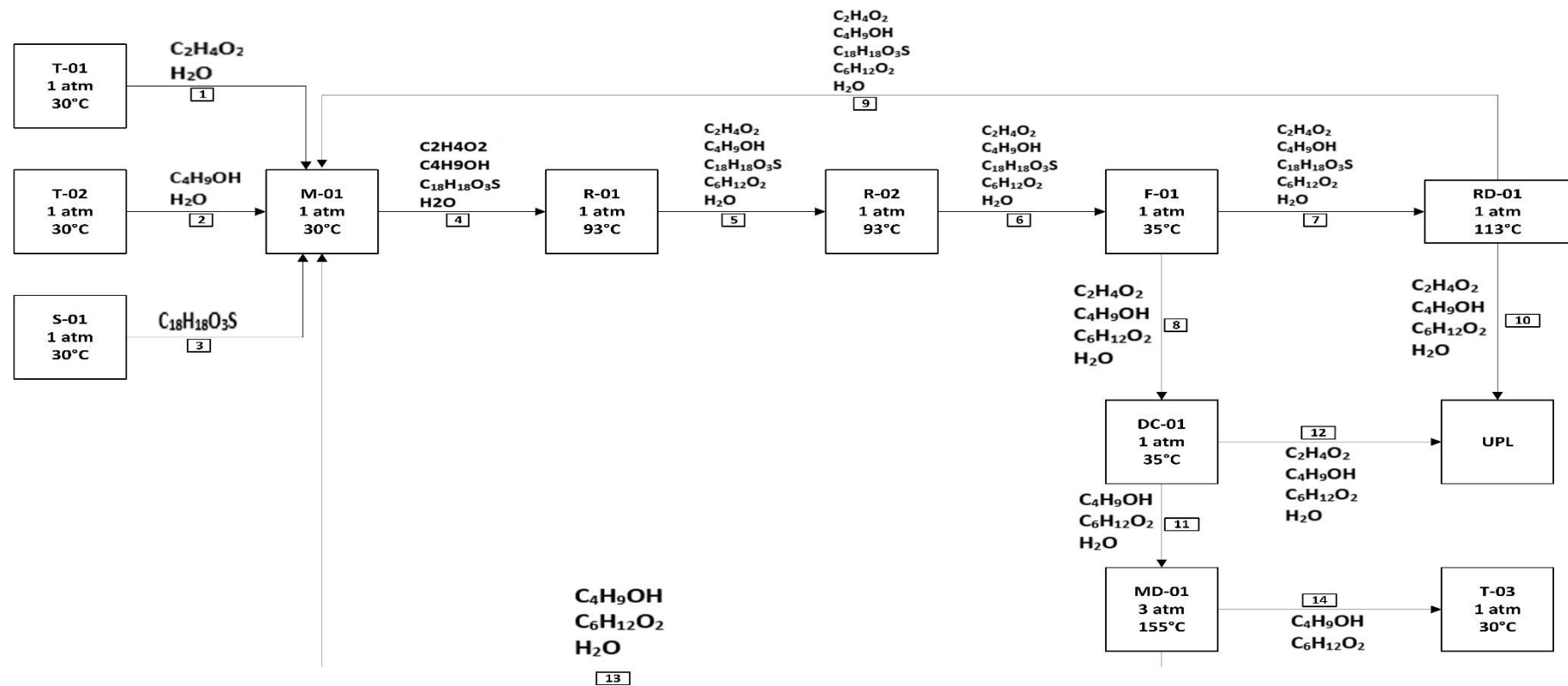
Pengendalian tekanan berfungsi untuk menjaga tekanan operasi pada peralatan proses agar tetap aman dan stabil. Alat ini sangat penting untuk mencegah terjadinya gangguan proses maupun risiko keselamatan.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

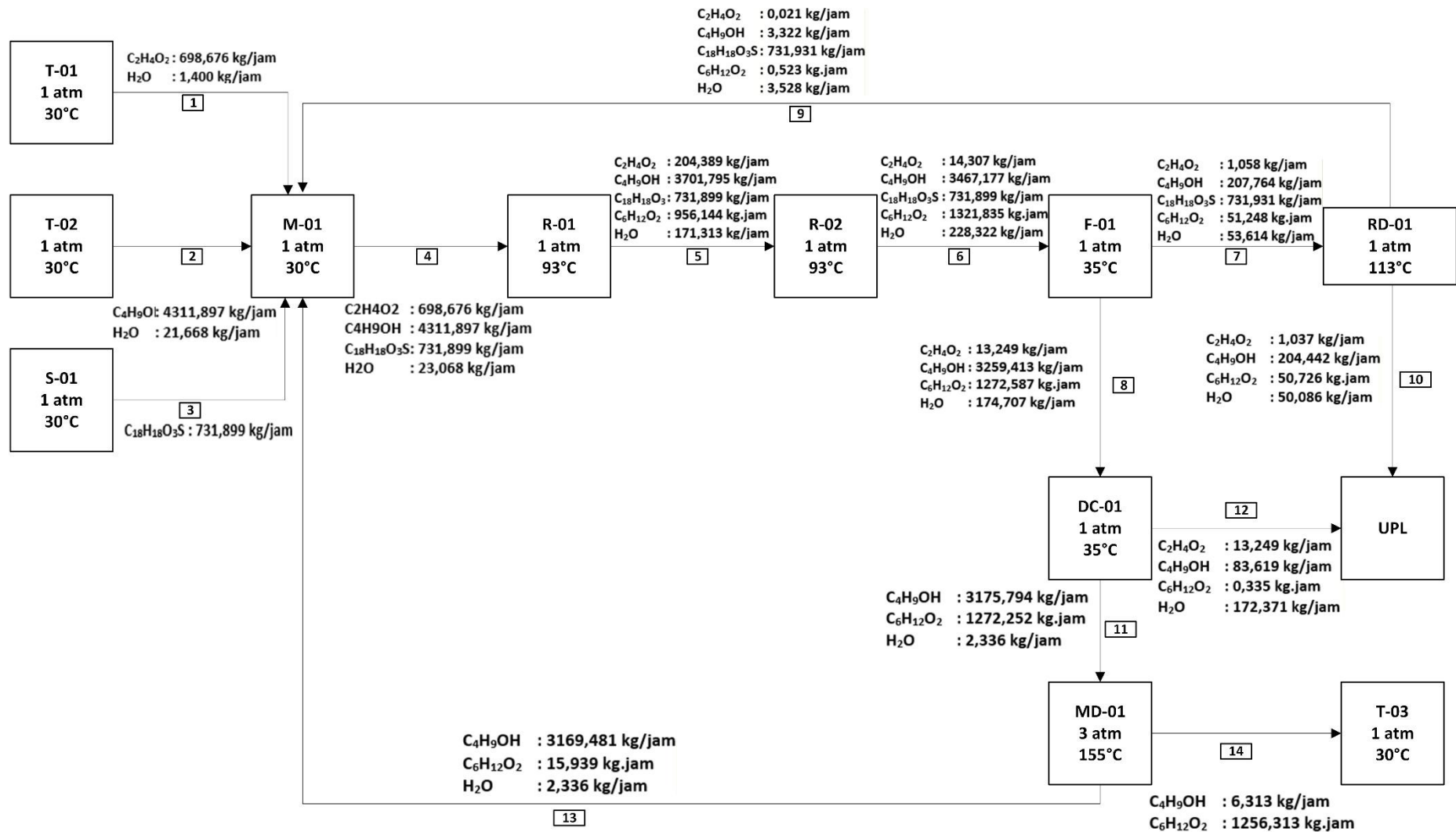
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

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

Produksi pabrik butil asetat ($C_6H_{12}O_2$) dilakukan dengan mereaksikan bahan baku asam asetat ($C_2H_4O_2$) dengan butanol (C_4H_9OH) menggunakan bantuan katalis heterogen yaitu resin amberlyst-15. Butil asetat terbentuk melalui reaksi esterifikasi dengan proses kontinu menggunakan reaktor aliran tangki berpengaduk (RATB/CSTR). Pabrik ini dirancang dengan kapasitas sebesar 10.000 ton/tahun yang beroperasi selama 24 jam dalam sehari dan 330 hari dalam setahun.

Proses pembuatan butil asetat secara umum dibagi menjadi 3 tahap utama yaitu :

- a. Tahap persiapan bahan baku
- b. Tahap reaksi
- c. Tahap pemisahan dan pemurnian produk

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

- a. Tahap Persiapan Asam Asetat ($C_2H_4O_2$)

Asam asetat yang digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan butil asetat ini disimpan dalam fase cair pada tangki penyimpanan (T-01) dengan suhu 30 °C tekanan 1 atm dan kemurnian 99,8%. Asam asetat dalam tangki penyimpanan dapat disimpan untuk proses satu minggu. Dari tangki penyimpanan (T-01), asam asetat ($C_2H_4O_2$) akan dipompa menggunakan pompa (P-01) untuk dialirkan ke dalam *mixer* (M-01) yang berfungsi untuk mencampurkan asam asetat dengan bahan baku lainnya secara homogen sebelum dimasukkan ke dalam reaktor (R-01).

b. Tahap Persiapan Butanol (C_4H_9OH)

Butanol yang digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan butil asetat ini disimpan dalam fase cair pada tangki penyimpanan (T-02) dengan suhu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ tekanan 1 atm dan kemurnian 99,5%. Asam asetat dalam tangki penyimpanan dapat disimpan untuk proses satu minggu. Dari tangki penyimpanan (T-02), butanol (C_4H_9OH) akan dipompa menggunakan pompa (P-02) untuk dialirkan ke dalam *mixer* (M-01) yang berfungsi untuk mencampurkan butanol dengan bahan baku lainnya secara homogen sebelum dimasukkan ke dalam reaktor (R-01).

c. Tahap Persiapan Amberlyst-15

Katalis heterogen amberlyst-15 yang digunakan sebagai bahan pembantu dalam proses pembuatan butil asetat ini disimpan dalam fase padatan pada tangki silo (S-01) dengan suhu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 1 atm. Amberlyst-15 dalam tangki silo dapat disimpan untuk proses satu minggu. Dari tangki silo (S-01), amberlyst-15 yang berbentuk butiran akan diangkut menggunakan *screw conveyor* (SC-01) untuk dimasukkan ke dalam *mixer* (M-01).

3.2.2 Tahap Reaksi

Tahap reaksi pada pabrik butil asetat dilakukan menggunakan proses esterifikasi secara kontinyu antara asam asetat dan butanol dengan bantuan katalis Amberlyst-15. Pada proses ini, bahan baku asam asetat dan butanol dicampurkan dengan rasio mol 1 : 5 sebelum dialirkan ke reaktor. Penggunaan butanol berlebih bertujuan untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan produk sehingga konversi reaksi dapat ditingkatkan. Reaksi berlangsung pada kondisi

operasi suhu 93°C dan tekanan 1 atm dengan sifat reaksi eksotermis *reversible*. Untuk menjaga suhu pada reaktor tetap pada 93°C , maka reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin.

Proses reaksi dilakukan di dalam dua buah reaktor alir tangki berpengaduk kontinu (*Continuous Stirred Tank Reactor/CSTR*) yang disusun secara seri, yaitu reaktor R-01 dan R-02. Katalis Amberlyst-15 digunakan untuk mempercepat laju reaksi esterifikasi dengan menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga pembentukan butil asetat dapat berlangsung lebih cepat dan efisien. Selain itu, penggunaan katalis padat Amberlyst-15 juga mempermudah proses pemisahan katalis dari produk hasil reaksi.

Pada reaktor pertama (R-01), reaksi esterifikasi menghasilkan konversi sebesar 71%. Aliran keluaran dari reaktor pertama kemudian dialirkan menuju reaktor kedua (R-02) untuk meningkatkan konversi reaksi. Di dalam reaktor kedua, reaksi esterifikasi kembali berlangsung sehingga diperoleh konversi total sebesar 93%. Produk utama yang dihasilkan dari tahap reaksi ini adalah butil asetat, sedangkan air terbentuk sebagai produk samping reaksi esterifikasi. Kemudian hasil dari reaktor akan melewati cooler (CL-01) untuk menurunkan suhu menjadi 35°C sebelum masuk ke *filter* (F-01).

3.2.3 Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

Tahap pemisahan dan pemurnian produk bertujuan untuk memisahkan katalis, menghilangkan pengotor, serta memperoleh produk butil asetat dengan kemurnian tinggi. Aliran keluaran dari reaktor dialirkan menuju *filter* (F-01) pada kondisi operasi suhu 35°C dan tekanan 1 atm untuk memisahkan katalis

Amberlyst-15 dari campuran cairan hasil reaksi. Pada unit *filter* ini dihasilkan dua aliran keluaran, yaitu *cake* dan filtrat. *Cake* yang dihasilkan berupa katalis Amberlyst-15 yang masih mengandung sekitar 30% *liquid*, sedangkan filtrat berupa campuran cairan hasil reaksi. *Cake* hasil pemisahan dari F-01 selanjutnya dialirkan menuju *rotary dryer* (RD-01) untuk proses pengeringan katalis pada kondisi operasi 113°C dan tekanan 1 atm. Pada *rotary dryer* digunakan udara panas sebagai media pengering. Udara luar terlebih dahulu disaring menggunakan *filter* udara FU-01 untuk menghilangkan partikel pengotor, kemudian dialirkan menggunakan *blower* (BL-01) menuju *heater* (HE-02) untuk dipanaskan dari suhu 30°C menjadi 150°C. Udara panas tersebut kemudian diumpankan ke *rotary dryer* untuk mengeringkan katalis Amberlyst-15 sehingga kandungan *liquid* yang masih terbawa dapat dikurangi. Katalis kering hasil keluaran atas RD-01 selanjutnya di-*recycle* kembali menuju *mixer* (M-01) menggunakan *belt conveyor* (BC-01) agar dapat digunakan kembali dalam proses reaksi. Sementara itu, keluaran bawah RD-01 dibuang menuju unit pengolahan limbah (UPL).

Filtrat hasil keluaran bawah F-01 kemudian dialirkan menuju *decanter* (DC-01) untuk memisahkan fase yang larut dalam air dan fase yang tidak larut dalam air dari campuran cairan hasil reaksi. Pada unit ini, keluaran atas *decanter* yang didominasi fase air dialirkan menuju UPL, sedangkan keluaran bawah yang mengandung butanol, butil asetat, dan sebagian air dialirkan menuju *heater* (HE-03) untuk dipanaskan dari suhu 35°C hingga 155°C sebelum diumpankan ke menara distilasi MD-01.

Proses distilasi pada MD-01 berlangsung pada kondisi operasi tekanan 3 atm dan suhu 155°C dengan tujuan memisahkan dan memurnikan butil asetat sebagai produk utama. Hasil atas menara distilasi yang berada pada kondisi operasi 150,93°C dan tekanan 3 atm dialirkan menuju *condenser* (CD-01) untuk diembunkan, kemudian ditampung sementara di accumulator (ACC-01). Sebagian aliran dari accumulator di-*reflux* kembali ke menara distilasi untuk menjaga efisiensi pemisahan, sedangkan sebagian lainnya di-*recycle* kembali menuju *mixer* M-01. Sementara itu, hasil bawah menara distilasi yang berada pada suhu 172,3°C dan tekanan 3 atm dialirkan menuju *reboiler* (RB-01) untuk proses penguapan sebagian aliran. Uap yang terbentuk dikembalikan kembali ke menara distilasi sebagai *reflux* guna mempertahankan proses pemisahan di dalam kolom. Adapun aliran produk utama berupa butil asetat selanjutnya didinginkan menggunakan *cooler* (CL-02) dari suhu 172°C menjadi 30°C sebelum dialirkan menuju tangki penyimpanan produk (T-03).

Melalui rangkaian proses pemisahan dan pemurnian tersebut, produk butil asetat yang dihasilkan memiliki kemurnian sebesar 99,5% sehingga memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Alat Proses

1. Reaktor

Tabel 3. 1 Spesifikasi reaktor

Kode	R-01	R-02
Fungsi	Tempat terjadinya reaksi antara Butanol dan Asam Asetat dengan katalis Amberlyst-15 menjadi Butil Asetat	Tempat terjadinya reaksi antara Butanol dan Asam Asetat dengan katalis Amberlyst-15 menjadi Butil Asetat
Jenis	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Kondisi Operasi		
Tekanan (atm)	1	1
Suhu (°C)	93	93
Spesifikasi		
Tipe atap tangki	<i>Torisheperical</i>	<i>Torisheperical</i>
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Tipe 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Tipe 316</i>
Volume Shell(m ³)	17,991	17,991
Volume head (m ³)	1,213	1,213
Volume total (m ³)	19,456	19,456
Diameter standar tangki (m)	2,429	2,429
Tinggi shell (m)	3,643	3,643
Tinggi head (m)	0,4732	0,4732
Tinggi total (m)	4,590	4,590
Tebal shell (in)	0,3125	0,3125
Tebal head (in)	0,25	0,25
Pengaduk		
Tipe	<i>Flat six blade turbine with disk</i>	<i>Flat six blade turbine with disk</i>
Jumlah	1	1
Diameter (m)	0,836	0,836
Kecepatan (rpm)	84	84
Tinggi pengaduk (m)	3,261	3,261
Jumlah impeller	1 (turbin pengaduk)	1 (turbin pengaduk)
Power (hp)	8,14	8,14
Power motor (hp)	10	10
Jaket pendingin		
Tinggi Jaket (m)	3,607	3,607
Tebal jaket (m)	0,0048	0,0048
Luas Transfer panas (m ²)	0,0879	0,0879
Harga (\$)	380.000	380.000

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung

1. Mixer

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Mixer* (M-01)

Kode	M-01
Fungsi	Mencampur Asam asetat, Butanol, dan Amberlyst 15 sebelum dialirkan ke Reaktor (R-01)
Jenis	Tangki Silinder Tegak
Kondisi	
Tekanan (atm)	1
Suhu (°C)	30
Waktu tinggal (menit)	10
Spesifikasi	
Diameter (m)	2,088
Tinggi (m)	2,088
Tinggi cairan (m)	1,740
Volume mixer(m ³)	8,130
Volume head (m ³)	0,9782
Tinggi shell (m)	2,0886
Tinggi head (m)	0,4417
Tebal shell (in)	0,2500
Tebal head (in)	0, 1875
Pengaduk	
Tipe	<i>Turbin with 6 flat blades</i>
Jumlah	1
Diameter (m)	0,758
Kecepatan (rpm)	195
Tinggi pengaduk (m)	0,151
Lebar pengaduk (m)	0,189
Jarak pengaduk (m)	0,758
Jumlah <i>Baffle</i>	6
Lebar <i>baffle</i>	0,189
Power motor (hp)	0,13
Harga (\$)	204.900

2. Filter

Tabel 3. 3 Spesifikasi *Filter*

Kode	F-01
Fungsi	Memisahkan <i>amberlyst-15</i> (padatan/ <i>cake</i>) dari komponen <i>liquid</i>
Jenis	<i>Rotary Drum Vacuum Filter</i>
Kondisi Operasi	
Tekanan (atm)	0,13
Suhu (°C)	35
Spesifikasi	
Diameter Drum (m)	1,5
Panjang <i>Filter</i> (m)	4,7
Lebar <i>Filter</i> (m)	1,1
Tinggi <i>Slurry</i> (m)	0,4
Waktu Siklus	
Tahap Filtrasi (detik)	32,35
Tahap <i>Dewatering</i> (detik)	21,57
Tahap <i>Washing</i> (detik)	17,97
<i>Second Dewatering</i> (detik)	26,96
<i>Dead zone</i> (detik)	8,99
Kecepatan Putar (Rpm)	0,56
Power (hp)	0,28
Power motor (hp)	0,33
Harga (\$)	211.200

3. Rotary Dryer

Tabel 3. 4 Spesifikasi *Rotary Dryer*

Kode	RD-01
Fungsi	Mengeringkan amberlyst-15
Jenis	<i>Direct contact-counter current rotary dryer</i>
Kondisi Operasi	
Suhu bahan masuk (°C)	35
Suhu bahan keluar (°C)	115
Suhu udara masuk (°C)	150
Suhu udara keluar (°C)	118
Spesifikasi	
Laju alir udara (kg/jam)	19.789,83
Laju alir bahan (kg/jam)	313,7055
Beban panas (kJ/jam)	335.386,50
Diameter (m)	2,67
Panjang (m)	10,67
Kecepatan putar (rpm)	3,22
Sudut kemiringan (°)	4,57
Power (hp)	8,89
Harga (\$)	964.800

4. Decanter

Tabel 3. 5 Spesifikasi *Decanter*

Kode	DC-01
Fungsi	Memisahkan fase terlarut dalam air dengan yang tidak terlarut dalam air dari cairan keluaran F-01
Jenis	<i>Horizontal cylinder vessel</i>
Kondisi Operasi	
Tekanan (atm)	1
Suhu (°C)	35
Spesifikasi	
Diameter <i>decanter</i> (m)	0,76
Panjang total (m)	2,7
Tebal dinding (in)	0,1875
Tebal head (in)	0,1875
Tinggi head (m)	8,42
Volume <i>decanter</i> (m ³)	1,02
Waktu tinggal (menit)	10
Kecepatan volumetrik fase ringan (QL) (m ³ /jam)	4,88
Kecepatan volumetrik fase berat (QH) (m ³ /jam)	0,22
Pipa umpan	2,38
Pipa fase berat (in)	0,84
Pipa fase ringan (in)	2,38
Tinggi pipa umpan (m)	0,38
Tinggi cairan fase berat (m)	7,01
Tinggi cairan fase ringan (m)	0,68
Harga (\$)	119.000

5. Menara Distilasi

Tabel 3. 6 Spesifikasi Menara Distilasi

Kode	MD-01
Fungsi	Memisahkan butil asetat sebagai produk akhir dari air dan butanol
Jenis	Menara distilasi dengan <i>sieve tray</i>
Kondisi Operasi	
Tekanan	
Umpan (atm)	3,00
Hasil Atas (atm)	2,86
Hasil Bawah (atm)	3,24
Suhu	
Umpan (°C)	155
Hasil Atas (°C)	151
Hasil Bawah (°C)	172,3
Dimensi <i>shell</i>	
Diameter atas (m)	1,8378
Diameter bawah (m)	1,8378
Tebal atas (in)	0,3125
Tebal bawah (in)	0,3125
Tinggi atas (m)	10,03
Tinggi bawah (m)	12,68
Tinggi total (m)	28,81
Dimensi head	
Tipe	<i>Torispherical dishead head</i>
Tebal atas (in)	0,3125
Tebal bawah (in)	0,3125
Tinggi atas (m)	0,36
Tinggi bawah (m)	0,38
Spesifikasi plate	
Tipe	<i>Sieve tray</i>
<i>Plate spacing</i> (m)	0,30
Jumlah total plate	54
Plate umpan masuk	31
Isolasi	
Bahan	Asbestos
Tebal (m)	0,398
Harga (\$)	293.900

6. *Accumulator*

Tabel 3. 7 Spesifikasi *Accumulator* (ACC-01)

Kode	ACC-01
Fungsi	Menampung Sementara hasil atas Menara Distilasi (MD-01) sebelum Recycle
Jenis	<i>Horizontal drum</i>
Kondisi Operasi	
Tekanan (atm)	2,86
Suhu (°C)	150
Spesifikasi	
Volume (m ³)	5,0972
Diameter (m)	21,265
Panjang <i>shell</i> (m)	3,7950
Tebal <i>shell</i> (in)	0,25
Panjang <i>head</i> (m)	0,2779
Tebal <i>head</i> (in)	0,25
Panjang total (m)	4,3507
Harga (\$)	33.800

7. Reboiler

Tabel 3. 8 Spesifikasi Reboiler (RB-01)

Kode	RB-01
Fungsi	Menguapkan sebagian hasil bawah menara distilasi (MD-01)
Jenis	<i>Kettle Reboiler (Shell and tube)</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 304</i>
Shell	
• Suhu masuk (°C)	172,30
• Suhu Keluar (°C)	172,37
• <i>Passes</i>	1
• ID (in)	17,25
• <i>Baffle space</i> (in)	0,75
Tube	
• Suhu masuk (°C)	200
• Suhu keluar (°C)	200
• Panjang (ft)	12
• <i>Passes</i>	2
• OD (in)	0,75
• ID (in)	0,584
• <i>Number</i>	196
• BWG	14
• <i>Pitch</i>	1 in, <i>triangular pitch</i>
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,0082
A (ft ²)	359,6208
UD (Btu/hr/ft ² .°F)	102,911
UC (Btu/hr/ft ² .°F)	112,510
Rd	0,001
Harga (\$)	70.800

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

1. Tangki Penyimpanan Bahan baku dan Produk

Tabel 3. 9 Spesifikasi Tangki bahan baku dan produk

Kode	T-01	T-02	T-03
Fungsi	Menyimpan kebutuhan asam asetat	Menyimpan kebutuhan butanol	Menyimpan produk butil asetat
Lama penyimpanan	7 hari	7 hari	7 hari
Jumlah	1 alat	1 alat	1 alat
Jenis	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (<i>flat bottom</i>)	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (<i>flat bottom</i>)	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (<i>flat bottom</i>)
Tekanan (atm)	1	1	1
Suhu (°C)	30	30	30
Tipe atap tangki	<i>Conical</i>	<i>Conical</i>	<i>Conical</i>
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel</i> SA-167 Tipe 316	<i>Stainless Steel</i> SA-167 Tipe 304	<i>Stainless Steel</i> SA-167 Tipe 304
Kapasitas tangki (kg)	117.612,8215	728.038,8126	212.121,2387
Volume tangki (m ³)	160,0453	1.280,3625	26,6742
Volume head (m ³)	20,6629	162,3392	2,9533
Volume total (m ³)	180,7082	1.442,7016	29,6276
Diameter tangki (m)	6,0960	12,1920	3,0480
Tinggi shell (m)	5,4864	10,9728	3,6576
Course plate	6	6	6
Tebal shell (in)	0,3750	0,6250	0,4375
Tebal bottom (in)	0,3750	0,6250	0,4375
Tebal head (in)	0,1875	0,4375	0,3125
Tinggi head (in)	42,8285	84,7196	23,6330
Tinggi total tangki (m)	6,574	13,125	4,258
Diameter pipa pengisian (in)	9,7500	21,2500	3,8260
Diameter pipa pengeluaran (in)	0,7420	1,9390	0,9570
Harga (\$)	185.200,00	568.300,00	45.900,00

Tabel 3. 10 Spesifikasi silo katalis

Kode	S-01
Fungsi	Sebagai tempat penyimpanan katalis amberlyst-15
Jumlah	1 alat
Tipe	Tangki silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk <i>cone</i> 60°
Bahan	<i>Stainless steel</i> type 316
Tekanan (atm)	1
Suhu (°C)	30
Diameter silo (m)	7,09
Tebal shell (in)	0,1875
Lebar silo (m)	7,1
Tebal head (in)	0,29
Tinggi silo (m)	16,29
Harga (\$)	37.700,00

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi

1. Pompa

Tabel 3. 11 Spesifikasi pompa

Kode	P-01	P-02	P-03
Fungsi	Mengalirkan $C_2H_4O_2$ dari Tangki Penyimpanan (T-01) menuju <i>Mixer</i> (M-01)	Mengalirkan $C_4H_{10}O$ dari Tangki Penyimpanan (T-02) menuju <i>Mixer</i> (M-01)	Mengalirkan hasil dari <i>Mixer</i> (M-01) menuju Reaktor (R-01)
Jenis	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>
<i>Impeller</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>
Jumlah	1	1	1
Bahan konstruksi	<i>Commercial steel</i>	<i>Commercial steel</i>	<i>Commercial steel</i>
Kapasitas (gpm)	3,2284	26,1277	34,2104
<i>Rate volumetric</i> (ft ³ /s)	0,0072	0,0582	0,0762
Kecepatan aliran (ft/s)	2,3978	2,8418	3,2766
ID pipa (in)	0,742	1,939	2,067
OD pipa (in)	1,05	2,38	2,38
IPS pipa (in)	0,75	2	2
<i>Flow area</i> pipa (in ²)	0,432	2,95	3,35
Efisiensi pompa (%)	40	50	55
<i>Power</i> pompa (hp)	0,03614	0,159610	0,312066
<i>Power</i> motor (hp)	0,0500	0,2500	0,5000
Harga, (\$)	7.600	11.000	11.500

Tabel 3. 11 Spesifikasi pompa (lanjutan)

Kode	P-04	P-05	P-06
Fungsi	Mengalirkan hasil dari Reaktor (R-01) menuju Reaktor (R-02)	Mengalirkan hasil dari Reaktor (R-02) menuju <i>Filter</i> (F-01)	Mengalirkan hasil dari <i>Filter</i> (F-01) menuju <i>Decanter</i> (DC-01)
Jenis	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>
<i>Impeller</i>	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>
Jumlah	1	1	1
Bahan konstruksi	<i>Commercial steel</i>	<i>Commercial steel</i>	<i>Commercial steel</i>
Kapasitas (gpm)	36,0495	36,1247	27,4023
<i>Rate volumetric</i> (ft ³ /s)	0,0803	0,080486	0,061052
Kecepatan aliran (ft/s)	2,7344	2,7401	2,9804
ID pipa (in)	2,323	2,323	1,939
OD pipa (in)	2,88	2,88	2,38
IPS pipa (in)	2,5	2,5	2
<i>Flow area</i> pipa (in ²)	4,23	4,23	2,95
Efisiensi pompa (%)	55	55	50
<i>Power</i> pompa (hp)	0,26935	0,20660	0,08564
<i>Power</i> motor (hp)	0,5000	0,3333	0,1677
Harga, (\$)	12.300	11.300	11.000

Tabel 3. 8 Spesifikasi pompa (lanjutan)

Kode	P-07	P-08	P-09
Fungsi	Mengalirkan hasil dari <i>Decanter</i> (DC-01) menuju Menara Distilasi (MD-01)	Mengalirkan hasil dari <i>Accumulator</i> (ACC-01) menuju <i>Mixer</i> (M-01)	Mengalirkan hasil dari <i>Reboiler</i> (RB-01) menuju Tangki Penyimpanan (T-03)
Jenis	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>
<i>Impeller</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>
Jumlah	1	1	1
Bahan konstruksi	<i>Commercial steel</i>	<i>Commercial steel</i>	<i>Commercial steel</i>
Kapasitas (gpm)	26,3604	73,5616	8,6977
<i>Rate volumetric</i> (ft ³ /s)	0,058731	0,16389	0,01937
Kecepatan aliran (ft/s)	2,8671	3,5707	2,1802
ID pipa (in)	1,939	2,9	1,278
OD pipa (in)	2,38	3,5	1.66
IPS pipa (in)	2	3	1.25
<i>Flow area</i> pipa (in ²)	2,95	6,61	1,28
Efisiensi pompa (%)	55	55	40
<i>Power</i> pompa (hp)	0,810564	0,441367	0,063350
<i>Power</i> motor (hp)	1,5000	0,7500	0,0833
Harga, (\$)	11.100	13.900	8.700

2. Screw Conveyor

Tabel 3. 12 Spesifikasi *Screw conveyor*

Kode	SC-01	SC-02
Fungsi	Untuk mengangkut keluaran Silo-01 (S-01) menuju <i>Mixer-01</i> (M-01)	Untuk mengangkut keluaran <i>Filter-01</i> (F-01) menuju <i>Rotary Dryer-01</i> (RD-01)
Jenis	<i>Horizontal Screw conveyor</i>	<i>Horizontal Screw conveyor</i>
Bahan konstruksi	<i>Carbon Steel SA-53 Grade B</i>	<i>Carbon Steel SA-53 Grade B</i>
Tekanan (atm)	1	1
Suhu (°C)	30	30
Laju alir (kg/jam)	731,8992	1.045,6151
Densitas (kg/m ³)	680,79	4,9151
Laju volumetric (ft ³ /jam)	1,07507	212,7312
Kapasitas (ton/jam)	5	5
Diameter screw (m)	0,2286	0,2286
Diameter pipa (m)	0,0635	0,0635
Pusat gantungan (m)	3,048	3,048
Kecepatan motor (rpm)	40	40
Diameter umpan (m)	0,1524	0,1524
Panjang (m)	4,572	4,572
Daya motor (hp)	0,43	0,43
Harga, (\$)	3.800	3.800

3. Belt Conveyor

Tabel 3. 13 Spesifikasi *belt conveyor*

Kode	BC-01
Fungsi	Untuk mengangkut keluaran <i>Rotary Dryer</i> -01 (RD-01) menuju <i>Mixer</i> -01 (M-01)
Jenis	<i>Horizontal belt Conveyor</i>
Bahan konstruksi	<i>Carbon Steel SA-53 Grade B</i>
Tekanan (atm)	1
Suhu (°C)	115
Laju alir (kg/jam)	739,324
Densitas (kg/m ³)	0,148
Kapasitas (ton/jam)	32
Lebar belt (m)	0,3556
Luas penampang belt (m ²)	0,01
Kecepatan belt (ft/min)	2.310,3869
Panjang belt (m)	12,192
Waktu tempuh (min)	0,01731
Berat <i>belt</i> (lb/ft)	21
Power motor (hp)	11,903
Efisiensi motor (%)	86,5
Total power (hp)	10,2969
Standar NEMA (hp)	15
Koefisien konveksi (Btu/hr.ft ² .°F)	0,1405
Harga, (\$)	14.300

4. Blower

3. 14 Spesifikasi Blower

Kode	BL-01
Fungsi	Untuk mengalirkan udara dari <i>filter</i> udara (FU-01) menuju Heater (HE-02)
Jenis	<i>Blower centrifugal</i>
Bahan konstruksi	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Tekanan (atm)	1
Suhu (°C)	30
Laju alir (kg/jam)	19.789,829
Efisiensi blower (%)	80
Daya (hp)	1,5
Harga (\$)	18.600

5. Expansion Valve

Tabel 3. 15 Spesifikasi *Expansion Valve*

Kode	EV-01
Fungsi	Menurunkan tekanan keluaran Accumulator untuk diumpankan ke <i>Cooler</i>
Jenis	<i>Pressure Reducing Valve</i>
Bahan konstruksi	<i>Comersial steel</i>
Tekanan masuk (atm)	3
Tekanan keluar (atm)	1
Suhu masuk (°C)	150,88
Suhu Keluar (°C)	130,83
Kapasitas (kg/jam)	3187,418
ID (in)	6,065
OD (in)	6,625
<i>Flow rate per pipe</i> (in ²)	28,9
<i>Equivalent length</i> (ft)	160

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

1. Heater

Tabel 3. 16 Spesifikasi *heater (Sheel and tube)*

Kode	HE-01	HE-02
Fungsi	Menaikkan suhu keluaran <i>Mixer</i> (M-01) untuk diumpankan ke Reaktor (R-01)	Menaikkan suhu Udara untuk diumpankan ke <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)
Jenis	<i>Shell and tube</i>	<i>Shell and tube</i>
Bahan	<i>Stainless Steel</i> SA-167 type 316	<i>Stainless Steel</i> SA-167 type 316
Shell		
• Suhu masuk (°C)	30	30
• Suhu Keluar (°C)	93	150
• <i>Passes</i>	1	1
• ID (in)	13,25	15,25
• <i>Baffle space</i> (in)	9,9375	11,4375
• <i>Presure drop</i> (psi)	0,0001	0,2428
Tube		
• Suhu masuk (°C)	200	200
• Suhu keluar (°C)	200	200
• Panjang (ft)	12	15
• <i>Passes</i>	2	2

Tabel 3. 16 Spesifikasi *heater (Sheel and tube lanjutan)*

• OD (in)	0,75	0,75
• ID (in)	0,584	0,584
• <i>Number</i>	114	1138
• BWG	14	14
• <i>Pitch</i>	15/16 in <i>triangular pitch</i>	1 in <i>triangular pitch</i>
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,0506	0,1277
A (ft ²)	209,1672	316,5030
UD (Btu/hr/ft ² .°F)	17,7237	44,5837
UC (Btu/hr/ft ² .°F)	103,0470	86,6439
Rd	0,063	0,011
Rd min	0,001	0,001
Harga (\$)	47.200	24.200

Tabel 3. 17 Spesifikasi *heater (double pipe)*

Kode	HE-03
Fungsi	Menaikkan suhu keluaran <i>Decanter</i> (DC-01) untuk diumpankan ke Menara Distilasi (MD-01)
Jenis	<i>Double pipe</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Jumlah hairpin	5
Panjang (ft)	12
Annulus	
• Suhu masuk (°C)	35
• Suhu Keluar (°C)	154,98
• IPS (in)	4
• ID (in)	4,026
• OD (in)	4,5
• <i>Surface area</i> (ft ² /ft)	1,178
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,01625
<i>Inner pipe</i>	
• Suhu masuk (°C)	200
• Suhu keluar (°C)	200
• IPS (in)	3
• OD (in)	3,5
• ID (in)	3,068
• <i>Surface area</i> (ft ² /ft)	0,917
A (ft ²)	70,68
UD (Btu/hr/ft ² .°F)	104,029
UC (Btu/hr/ft ² .°F)	118,315
Rd	0,0012
Rd min	0,001
Harga (\$)	2.900

2. Cooler

Tabel 3. 18 Spesifikasi cooler (*shell and tube*)

Kode	CL-01	CL-03
Fungsi	Menurunkan suhu keluaran Reaktor (R-01) untuk diumpankan ke <i>Filter</i> (F-01)	Menaikkan keluaran Accumulator (ACC-01) untuk di-recycle
Jenis	<i>Shell and tube</i>	<i>Shell and tube</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Shell		
• Suhu masuk (°C)	93	130,83
• Suhu Keluar (°C)	35	30
• <i>Passes</i>	1	1
• ID (in)	15,25	13,25
• <i>Baffle space</i> (in)	11,4375	9,9375
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,0028	0,27780
Tube		
• Suhu masuk (°C)	25	25
• Suhu keluar (°C)	50	29
• Panjang (ft)	12	12
• <i>Passes</i>	2	2
• OD (in)	0,75	0,75
• ID (in)	0,584	0,652
• <i>Number</i>	160	106
• BWG	14	13
• <i>Pitch</i>	15/16 in, <i>triangular pitch</i>	1 in, <i>triangular pitch</i>
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,0202	0,0088
A (ft ²)	293,5680	208,3528
UD (Btu/hr/ft ² .°F)	74,6375	116,4204
UC (Btu/hr/ft ² .°F)	200,4132	280,455
Rd	0,008	0,005
Rd min	0,001	0,001
Harga (\$)	59.500	41.100

Tabel 3. 19 Spesifikasi *cooler* (double pipe)

Kode	CL-02
Fungsi	Menurunkan suhu keluaran <i>Reboiler</i> (RB-01) untuk diumpankan ke Tangki penyimpanan (T-03)
Jenis	<i>Double pipe</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Jumlah hairpin	9
Panjang (ft)	12
Annulus	
• Suhu masuk (°C)	172,37
• Suhu Keluar (°C)	30
• IPS (in)	2
• ID (in)	2,067
• OD (in)	2,48
• <i>Surface area</i> (ft ² /ft)	0,622
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,6596
<i>Inner pipe</i>	
• Suhu masuk (°C)	25
• Suhu keluar (°C)	29
• IPS (in)	1,25
• OD (in)	1,66
• ID (in)	1,38
• <i>Surface area</i> (ft ² /ft)	0,435
A (ft ²)	67,176
UD (Btu/hr/ft ² .°F)	78,5362
UC (Btu/hr/ft ² .°F)	131,5711
Rd	0,0051
Rd min	0,001
Harga (\$)	2.900

2. Condensor

Tabel 3. 21 Spesifikasi Condensor (CD-02)

Kode	CD-01	CD-02
Fungsi	Mengembunkan aliran dari hasil atas menara distilasi (MD-01) untuk diumpankan ke accumulator	Mengembunkan uap dari <i>rotary dryer</i> untuk dialirkan ke UPL
Jenis	<i>Shell and tube</i>	<i>Shell and tube</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 304</i>	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Shell		
• Suhu masuk (°C)	150,93	124
• Suhu Keluar (°C)	150,88	30
• <i>Passes</i>	1	1
• ID (in)	15,25	15,25
• <i>Baffle space</i> (in)	11,4375	11,4375
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,01205	0,4034
Tube		
• Suhu masuk (°C)	25	25
• Suhu keluar (°C)	50	29
• Panjang (ft)	8	12
• <i>Passes</i>	2	2
• OD (in)	0,75	0,75
• ID (in)	0,532	0,532
• <i>Number</i>	106	376
• BWG	12	12
• <i>Pitch</i>	1 in, <i>triangular pitch</i>	1 in, <i>triangular pitch</i>
• <i>Pressure drop</i> (psi)	0,9879	0,3362
A (ft ²)	118,1264	885,7056
UD (Btu/hr/ft ² .°F)	79,115	42,530
UC (Btu/hr/ft ² .°F)	231,094	325,102
Rd	0,008	0,02
Rd min	0,001	0,001
Harga (\$)	21.400	99.700

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa *Mixer* (M-01)

Tabel 3. 2 Neraca massa *Mixer* (M-01)

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 2	Arus 13	Arus 4
C ₂ H ₄ O ₂	690,47			690,47
C ₄ H ₁₀ O		1.089,72	3.169,1	4.258,22
C ₆ H ₁₂ O ₂			15,94	15,94
H ₂ O	1,38	5,48	2,34	9,20
Total	4.980,85			4.980,85

3.4.2 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3. 3 Neraca massa Reaktor (R-01)

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	Arus 3	Arus 4	Arus 9	Arus 5
C ₂ H ₄ O ₂		690,47	0,02	182,69
C ₄ H ₁₀ O		4.258,22	3,15	3.634,59
C ₆ H ₁₂ O ₂		15,94	0,50	998,72
H ₂ O		9,20	3,36	164,85
AMBERLYS T-15	36,60		695,38	731,98
Total		5.712,83		5.712,83

3.4.3 Neraca Massa Reaktor 2 (R-02)

Tabel 3. 4 Neraca massa Reaktor (R-02)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 5	Arus 6
C ₂ H ₄ O ₂	182,69	12,79
C ₄ H ₁₀ O	3.634,59	3.424,88
C ₆ H ₁₂ O ₂	998,72	1.327,37
H ₂ O	164,85	215,81
AMBERLYS T-15	731,98	731,98
Total	5.712,83	5.712,83

3.4.4 Neraca Massa Filter (F-01)

Tabel 3. 5 Neraca massa Filter (F-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 6	Arus 7	Arus 8
C ₂ H ₄ O ₂	12,79	0,96	11,83
C ₄ H ₁₀ O	3.424,88	207,58	3.217,30
C ₆ H ₁₂ O ₂	1.327,37	51,34	1.276,04
H ₂ O	215,81	53,83	161,98
AMBERLYS T-15	731,98	731,98	
Total	5.712,83	5.712,83	

3.4.5 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-01)

Tabel 3. 6 Neraca massa Rotary Dryer (RD-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 7	Arus 9	Arus 10
C ₂ H ₄ O ₂	0,96	0,02	0,94
C ₄ H ₁₀ O	207,58	3,31	204,27
C ₆ H ₁₂ O ₂	51,34	0,52	50,81
H ₂ O	53,83	3,54	50,29
AMBERLYS T-15	731,98	731,98	
Total	1.045,68	1.045,68	

3.4.6 Neraca Massa Decanter ((DC-01)

Tabel 3. 7 Neraca massa Decanter (DC-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 8	Arus 11	Arus 12
C ₂ H ₄ O ₂	11,83		11,83
C ₄ H ₁₀ O	3.217,30	3.173,94	43,36
C ₆ H ₁₂ O ₂	1.276,04	1.274,76	1,28
H ₂ O	161,98	2,35	159,63
AMBERLYS T-15			
Total	4.667,14	4.667,14	

3.4.7 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3. 8 Neraca massa Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 11	Arus 13	Arus 14
C ₂ H ₄ O ₂			
C ₄ H ₁₀ O	3.173,94	3.167,61	6.33
C ₆ H ₁₂ O ₂	1.274,76	15,93	1.256,83
H ₂ O	2,35	2,35	
AMBERLYS T-15			
Total	4.451,04	4.451,04	

3.4.8 Neraca Massa *Reboiler* (RB-01)

Tabel 3. 9 Neraca massa *Reboiler* (RB-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 11	<i>Reflux</i>	Arus 14
C ₂ H ₄ O ₂			
C ₄ H ₁₀ O	12.128,29	12.121,976	6,33
C ₆ H ₁₂ O ₂	1.317,27	60,59	1.256,83
H ₂ O			
AMBERLYS T-15			
Total	13.445,56	13.445,56	

3.4.9 Neraca Massa *Accumulator* (ACC-01)

Tabel 3. 10 Neraca massa *Accumulator* (ACC-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 11	<i>Reflux</i>	Arus 13
C ₂ H ₄ O ₂			
C ₄ H ₁₀ O	12.121,98	8.952,84	3.167,61
C ₆ H ₁₂ O ₂	60,96	45,02	15,93
H ₂ O	8,96	6,62	2,35
AMBERLYS T-15			
Total	12.191,90	12.191,90	

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3. 11 Neraca panas Reaktor (R-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	781.209,85	
Q_{out}		788.546,89
Q_{reaksi}	-18,13	
$Q_{pendingin}$		-7.355,18
Total	781.189,38	781.189,38

3.5.2 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02)

Tabel 3. 12 Neraca panas Reaktor (R-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	788.546,89	
Q_{out}		791.368,21
Q_{reaksi}	-18,13	
$Q_{pendingin}$		-2.839,45
Total	788.528,76	788.528,76

3.5.3 Neraca Panas Rotary Dryer (RD-01)

Tabel 3. 13 Neraca panas Rotary Dryer (RD-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	11.032,84	
Q_{out}		31138,22
Q_{supply}	265.505,53	
$Q_{penguapan}$		245.400,15
Total	788.528,76	788.528,76

3.5.4 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3. 14 Neraca panas Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	1.316.981,568	
Q_{out}		932.449,854
Q_{bottom}		404.078,18
$Q_{reboiler}$	1.848.927.369	
$Q_{condensor}$		1.829.380,903
Total	3.165.908,937	3.165.908,937

3.5.5 Neraca Panas *Heater* 1 (HE-01)

Tabel 3. 15 Neraca panas *Heater* (HE-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	55.587,86	
Q_{out}		781.083,89
$Q_{pemanas}$	725.496,03	
Total	788.528,76	788.528,76

3.5.6 Neraca Panas *Heater* 2 (HE-02)

Tabel 3. 16 Neraca panas *Heater* (HE-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	102.425,44	
Q_{out}		2.593.034,98
$Q_{pemanas}$	2.490.609,55	
Total	2.593.034,98	2.593.034,98

3.5.7 Neraca Panas *Heater* 3 (HE-03)

Tabel 3. 17 Neraca panas *Heater* (HE-03)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	94.141,09	
Q_{out}		1.316.715,24
$Q_{pemanas}$	1.222.574,15	
Total	1.316.715,24	1.316.715,24

3.5.8 Neraca Panas *Cooler* 1 (CL-01)

Tabel 3. 18 Neraca panas *Cooler* (CL-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	791.246,94	
Q_{out}		113.098,19
$Q_{pendingin}$		678.148,76
Total	791.246,94	791.246,94

3.5.9 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02)

Tabel 3. 19 Neraca panas Cooler (CL-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	403.986,27	
Q_{out}		12.443,31
$Q_{pendingin}$		391.542,96
Total	403.986,27	503.986,27

3.5.10 Neraca Panas Cooler 3 (CL-03)

Tabel 3. 20 Neraca panas Cooler (CL-03)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	1.518.322,87	
Q_{out}		56.424,63
$Q_{pendingin}$		1.461.898,24
Total	1.518.322,87	1.518.322,87

3.5.11 Neraca Panas Condensor (CD-02)

Tabel 3. 21 Neraca panas Condensor (CD-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q_{in}	1.969.617	
Q_{out}		109.865,86
$Q_{pengembunan}$	1.055,36	
$Q_{pengembunan}$		1.860.806,58
Total	1.970.672	1.970.672

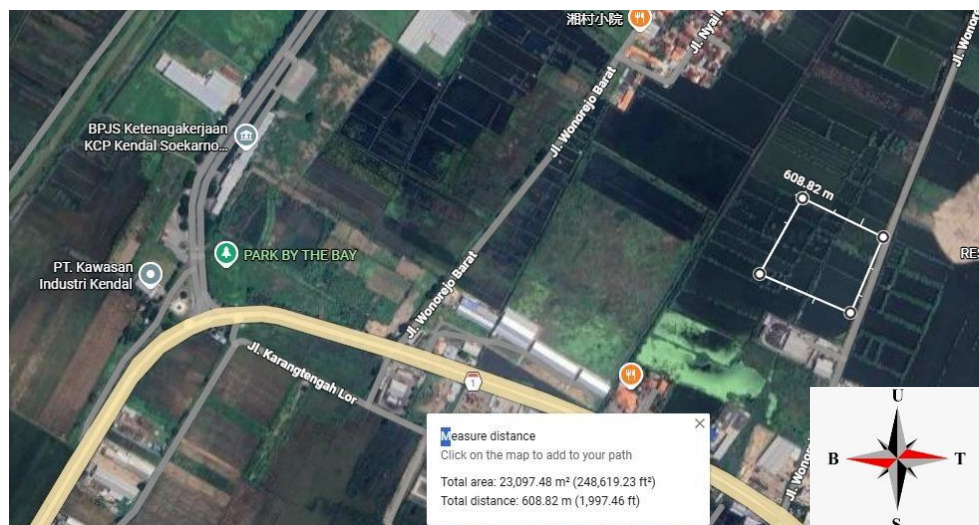
BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor penting yang sangat mempengaruhi keberhasilan suatu industri. Penentuan lokasi harus mempertimbangkan berbagai aspek secara menyeluruh agar kegiatan produksi dan distribusi dapat berlangsung secara efektif dan ekonomis. Oleh karena itu, pemilihan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, akses transportasi, pemasaran produk, utilitas, serta kondisi lingkungan sekitar.

Pabrik butil asetat dengan bahan baku n-butanol dan asam asetat direncanakan didirikan di daerah Jl. Wonorejo Timur, Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. Lokasi ini dipilih karena memiliki akses yang baik terhadap sumber bahan baku, dekat dengan kawasan industri, serta didukung oleh sarana transportasi dan distribusi yang memadai sehingga dapat menunjang kelancaran operasional pabrik.



Gambar 4. 1 Peta lokasi pabrik

4.1.1 Faktor-faktor penentuan lokasi pabrik

a. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku menjadi salah satu faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik karena berpengaruh terhadap kelancaran proses produksi dan biaya distribusi. Bahan baku n-butanol diperoleh dari PT Petro Oxo Nusantara di Gresik, Jawa Timur, sedangkan asam asetat diperoleh dari PT Indo Acidatama di Karanganyar, Jawa Tengah. Selain itu, katalis Amberlyst-15 diperoleh melalui impor dari DuPont Singapore karena belum terdapat produsen Amberlyst-15 di Indonesia. Oleh karena itu, lokasi pabrik di Kabupaten Kendal dinilai strategis karena memiliki akses distribusi yang baik terhadap bahan baku utama maupun bahan pendukung proses produksi.

b. Pemasaran produk

Pemasaran produk merupakan salah satu faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik karena berpengaruh terhadap kelancaran distribusi serta biaya pengiriman produk ke konsumen. Produk butil asetat banyak digunakan sebagai pelarut (*solvent*) pada industri cat, coating, tinta printing, adhesive, resin, dan industri kimia lainnya. Industri-industri tersebut banyak tersebar di wilayah Jabodetabek, Jawa Tengah, dan Jawa Timur yang merupakan kawasan industri utama di Indonesia.

Beberapa perusahaan yang berpotensi menjadi konsumen butil asetat antara lain PT Propan Raya dan PT Nipsea Paint and Chemicals pada industri cat dan coating, PT Toyo Ink Indonesia pada industri tinta printing, serta PT Avia Avian pada industri cat dan pelapis. Selain itu, terdapat pula berbagai

industri furnitur dan adhesive di wilayah Jawa Tengah yang menggunakan butil asetat sebagai bahan pelarut proses produksi. Berdasarkan kondisi tersebut, lokasi pabrik di Kabupaten Kendal, Jawa Tengah dinilai strategis karena berada di tengah jalur distribusi industri Pulau Jawa sehingga memudahkan pemasaran produk ke wilayah Jawa Barat, Jawa Tengah, maupun Jawa Timur.

c. Utilitas

Utilitas merupakan salah satu sarana penunjang yang penting dalam menjaga kelancaran proses produksi di pabrik. Ketersediaan utilitas yang memadai, seperti air, listrik, dan bahan bakar, sangat berpengaruh terhadap kontinuitas operasi pabrik. Pabrik butil asetat yang berlokasi di Jl. Wonorejo Timur, Wonorejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah, memiliki akses utilitas yang cukup baik karena berada dekat dengan kawasan industri dan jalur distribusi utama. Kebutuhan air untuk proses produksi, utilitas, dan sanitasi direncanakan diperoleh dari aliran Sungai Waridin yang berada di sekitar wilayah Kabupaten Kendal.

Kebutuhan tenaga listrik utama diperoleh dari PT PLN (Persero) melalui jaringan distribusi listrik yang melayani kawasan industri di Kabupaten Kendal dan sekitarnya. Sementara itu, kebutuhan bahan bakar industri seperti solar dan bahan bakar pendukung utilitas direncanakan diperoleh dari distribusi regional PT Pertamina Patra Niaga yang melayani wilayah Jawa Tengah, sehingga kebutuhan energi pabrik dapat terpenuhi secara berkelanjutan.

d. Transportasi

Faktor transportasi merupakan salah satu aspek penting dalam penentuan lokasi pabrik karena berkaitan dengan kelancaran distribusi bahan baku maupun pemasaran produk. Akses darat didukung oleh keberadaan jalur Pantura dan jalan tol Trans Jawa yang memudahkan distribusi bahan baku dari Jawa Timur dan Jawa Tengah serta pemasaran produk ke berbagai wilayah di Pulau Jawa. Selain itu, lokasi pabrik juga dekat dengan jalan utama kawasan industri sehingga mempermudah mobilitas kendaraan logistik.

Untuk akses laut, distribusi bahan baku impor dan pengiriman produk dapat dilakukan melalui Pelabuhan Tanjung Emas yang berlokasi di Semarang. Pelabuhan tersebut merupakan salah satu pelabuhan utama di Jawa Tengah yang melayani distribusi barang industri dan perdagangan. Sedangkan akses udara didukung oleh keberadaan Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani yang berada di Kota Semarang. Oleh karena itu, lokasi pabrik di Kabupaten Kendal dinilai memiliki sarana transportasi yang memadai untuk menunjang kegiatan industri.

e. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang kelancaran operasional pabrik. Ketersediaan tenaga kerja yang memadai akan mempengaruhi efektivitas proses produksi, pengoperasian peralatan, serta kegiatan administrasi pabrik. Lokasi pabrik di Kabupaten Kendal, Jawa Tengah dipilih karena memiliki ketersediaan tenaga kerja yang cukup besar, baik tenaga kerja terampil maupun non-terampil.

Selain itu, lokasi pabrik yang dekat dengan Kota Semarang memberikan keuntungan karena mudah memperoleh tenaga kerja lulusan sekolah kejuruan maupun perguruan tinggi yang memiliki kompetensi di bidang teknik dan industri. Beberapa perguruan tinggi di Jawa Tengah juga dapat menjadi sumber tenaga kerja profesional untuk mendukung kegiatan operasional pabrik.

f. Pengolahan limbah

Pengolahan limbah merupakan salah satu faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik karena berkaitan dengan aspek keselamatan dan kelestarian lingkungan. Limbah yang dihasilkan dari proses produksi butil asetat dapat berupa limbah cair, gas, maupun padatan sehingga diperlukan sistem pengolahan yang baik agar tidak mencemari lingkungan sekitar. Limbah cair hasil proses produksi direncanakan diolah terlebih dahulu pada unit pengolahan limbah sebelum dibuang ke lingkungan sesuai dengan standar yang berlaku

4.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik merupakan suatu pengaturan posisi bangunan, peralatan proses, fasilitas utilitas, area penyimpanan bahan baku dan produk, serta sarana penunjang lainnya di dalam area pabrik agar kegiatan produksi dapat berlangsung secara efektif, aman, dan efisien. Perancangan tata letak pabrik yang baik akan mempengaruhi kelancaran aliran proses produksi, kemudahan pengawasan, keselamatan kerja, serta efisiensi penggunaan lahan dan biaya operasional pabrik.

Selain itu, tata letak pabrik juga harus mampu mendukung hubungan yang baik antar unit proses sehingga perpindahan bahan baku, produk antara, maupun produk akhir dapat berlangsung dengan jarak yang lebih pendek dan waktu yang lebih efisien. Penempatan peralatan proses yang tepat dapat mengurangi kemungkinan terjadinya hambatan operasional serta mempermudah kegiatan perawatan dan pengendalian proses. Bangunan penunjang seperti kantor, laboratorium, bengkel, poliklinik, gudang, kantin, dan pos keamanan juga perlu ditempatkan pada area yang sesuai agar tidak mengganggu aktivitas produksi maupun lalu lintas distribusi bahan dan produk. Untuk memperoleh tata letak pabrik yang optimal, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- Pabrik butil asetat merupakan pabrik baru sehingga perancangan tata letak tidak dipengaruhi oleh bangunan atau fasilitas yang telah ada sebelumnya.
- Tata letak pabrik dirancang dengan mempertimbangkan kemungkinan perluasan area produksi dan penambahan fasilitas sebagai pengembangan pabrik di masa mendatang.
- Faktor keselamatan dan keamanan kerja menjadi perhatian utama, terutama terhadap risiko kebakaran dan ledakan karena bahan yang digunakan bersifat mudah terbakar, sehingga penempatan unit proses diusahakan jauh dari sumber api, panas, dan area berisiko tinggi.
- Sistem konstruksi yang digunakan direncanakan berupa outdoor process untuk mengurangi biaya pembangunan gedung serta menyesuaikan dengan kondisi iklim di Indonesia yang mendukung penggunaan sistem terbuka.

- Tata letak peralatan diatur agar aliran proses produksi berlangsung secara berurutan sehingga memudahkan pengoperasian, pengawasan, dan pemindahan bahan.
- Bangunan penunjang seperti kantor, laboratorium, bengkel, kantin, dan pos keamanan ditempatkan pada area yang aman dan tidak mengganggu aktivitas proses produksi.
- Penggunaan lahan dirancang seefisien mungkin agar seluruh fasilitas pabrik dapat tertata dengan baik serta tetap menyediakan area untuk jalur transportasi dan keadaan darurat.

Secara umum, area dalam suatu pabrik dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan fungsi dan kegiatan operasionalnya agar proses produksi, pengawasan, distribusi, serta keselamatan kerja dapat berjalan dengan baik. Pada pabrik butil asetat, pembagian area dilakukan untuk mendukung kelancaran proses produksi dan efisiensi penggunaan lahan pabrik.

4.2.1 Area Proses

Area proses merupakan bagian utama pabrik yang digunakan untuk kegiatan produksi butil asetat. Pada area ini terdapat berbagai peralatan utama seperti alat reaksi, alat pemisahan, alat penyimpanan, alat transportasi fluida, dan alat penukar panas yang saling terhubung untuk menunjang jalannya proses produksi dari bahan baku hingga produk akhir.

4.2.2 Area Perkantoran dan Pengendalian

Area ini digunakan untuk kegiatan administrasi, pengawasan, serta pengendalian operasional pabrik. Area ini meliputi kantor utama, kantor teknik

dan produksi, ruang control process, serta laboratorium. Kantor utama biasanya ditempatkan pada bagian depan pabrik agar mudah diakses oleh tamu maupun karyawan. Sementara itu, ruang control process ditempatkan dekat area proses untuk mempermudah pengawasan jalannya produksi.

4.2.3 Area Utilitas

Area utilitas berfungsi sebagai penyedia sarana pendukung kegiatan produksi di pabrik. Area ini meliputi unit utilitas dan *power plant* yang menyediakan kebutuhan air, listrik, bahan bakar, dan utilitas lainnya untuk menunjang kelancaran operasi pabrik. Area utilitas ditempatkan dekat area proses agar distribusi utilitas menjadi lebih efisien.

4.2.4 Area Pengolahan Limbah

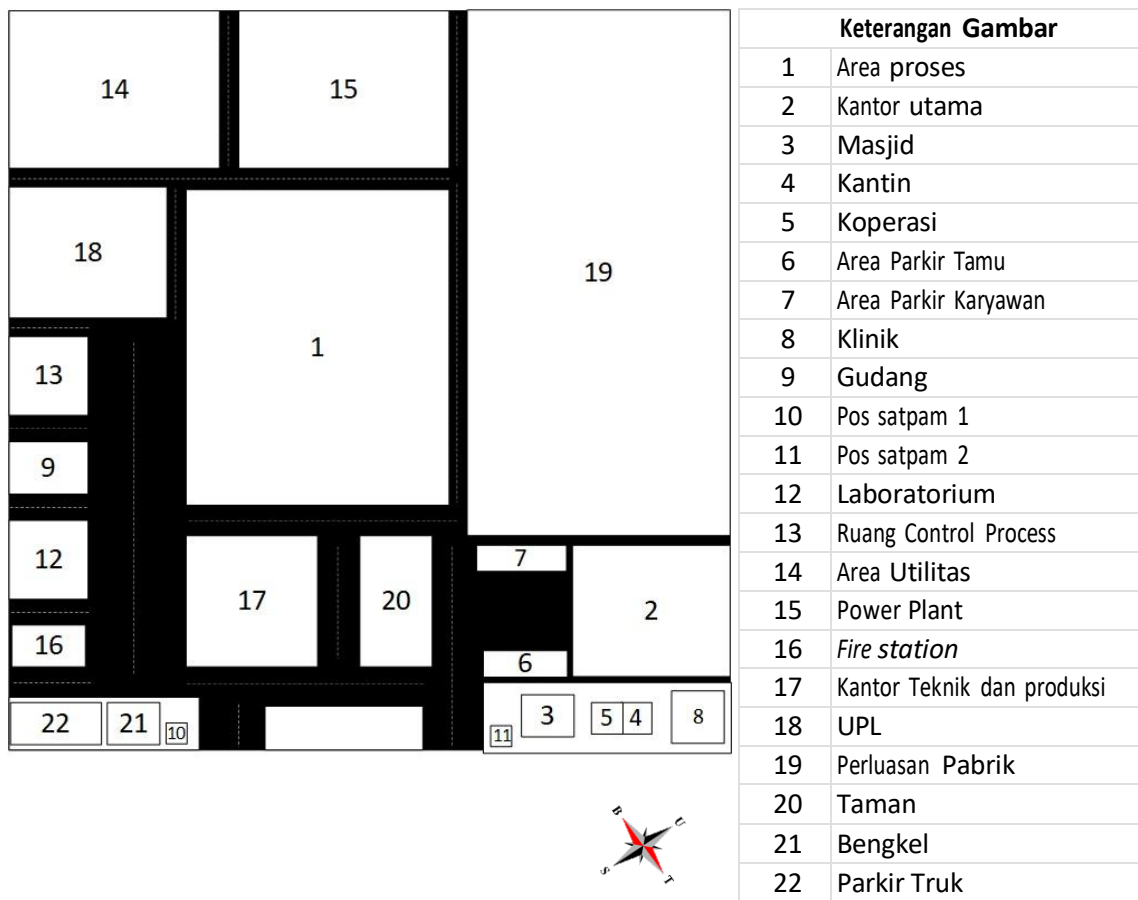
Area pengolahan limbah digunakan untuk menangani limbah hasil proses produksi sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah dilakukan untuk mengurangi kandungan zat pencemar sehingga limbah yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan yang berlaku dan tidak mencemari lingkungan sekitar pabrik.

4.2.5 Area Keamanan dan keselamatan

Area keamanan dan keselamatan digunakan untuk menunjang keamanan operasional pabrik. Area ini meliputi pos satpam 1, pos satpam 2, klinik, serta *fire station*.

4.2.6 Area Fasilitas Pendukung

Area ini meliputi masjid, kantin, area parkir tamu, area parkir karyawan, serta taman. Selain itu, disediakan pula area perluasan pabrik yang direncanakan untuk pengembangan fasilitas produksi di masa mendatang.



Gambar 4. 2 *layout* pabrik butil asetat dengan skala 1:1000

Tabel 4. 1 perincian luas bangunan pabrik

No	Area	Panjang (m)	Lebar(m)	Luas (m2)
1	Area proses	50	60	3000
2	Kantor utama	30	25	750
3	Masjid	8	10	80
4	Kantin	6	6	36
5	Koperasi	6	6	36
6	Area Parkir Tamu	5	15	75
7	Area Parkir Karyawan	5	20	100
8	Klinik	10	10	100
9	Gudang	15	10	150
10	Pos satpam 1	4	4	16
11	Pos satpam 2	4	4	16
12	Laboratorium	15	15	225
13	Ruang Control Process	20	20	400
14	Area Utilitas	40	30	1200
15	Power Plant	40	30	1200
16	<i>Fire station</i>	20	20	400
17	Kantor Teknik dan produksi	25	25	625
18	UPL	30	25	750
19	Perluasan Pabrik	100	50	5000
20	Taman	25	14	350
21	Bengkel	8	10	80
22	Parkir Truk	8	17	136
Luas Bangunan				14725
Luas Tanah				23000

4.3 Tata Letak Alat Proses

Perancangan tata letak mesin pada pabrik butil asetat harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan operasional agar proses produksi dapat berlangsung dengan lancar, aman, dan efisien. Penempatan peralatan proses yang tepat akan mempermudah jalannya produksi, pengawasan, perawatan peralatan, serta meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan pabrik. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam perancangan tata letak mesin pada pabrik butil asetat adalah sebagai berikut:

1. Aliran Bahan dan Produk

Penempatan peralatan proses harus disusun sesuai urutan proses produksi sehingga aliran bahan baku hingga menjadi produk dapat berlangsung secara teratur dan efisien. Dengan pengaturan aliran yang baik, perpindahan bahan antar unit proses dapat dipersingkat sehingga mengurangi kehilangan bahan, waktu proses, serta biaya transportasi di dalam area pabrik.

2. Aliran Udara

Sirkulasi udara yang baik diperlukan pada area proses untuk menjaga kondisi kerja yang aman dan nyaman. Hal ini penting karena proses produksi butil asetat menggunakan bahan kimia yang mudah menguap dan mudah terbakar, seperti butanol dan butil asetat. Oleh karena itu, tata letak peralatan harus mempertimbangkan ventilasi yang baik agar akumulasi uap bahan kimia dapat diminimalkan.

3. Pencahayaan

Pencahayaan yang memadai diperlukan untuk mendukung kegiatan operasi, pengawasan, dan pemeliharaan peralatan proses. Tata letak mesin dirancang agar area proses memperoleh pencahayaan yang cukup, baik dari cahaya alami maupun pencahayaan buatan, sehingga kegiatan operasional dapat berjalan dengan aman dan efektif.

4. Lalu Lintas manusia dan kendaraan

Jalur lalu lintas di dalam pabrik harus diatur dengan baik untuk memisahkan area kendaraan operasional, jalur pekerja, dan area proses produksi. Kendaraan bermotor tidak diperbolehkan memasuki area proses utama karena pada area tersebut terdapat peralatan yang beroperasi pada temperatur dan tekanan tertentu serta penggunaan bahan kimia yang mudah terbakar. Pengaturan jalur lalu lintas yang baik bertujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja dan gangguan terhadap proses produksi.

5. Faktor Ekonomi

Tata letak mesin dan peralatan proses dirancang seefisien mungkin untuk mengurangi biaya investasi dan operasional pabrik. Penempatan peralatan yang tepat dapat meminimalkan panjang perpipaan, penggunaan lahan, serta biaya pemindahan bahan di dalam pabrik.

6. Jarak antar Peralatan

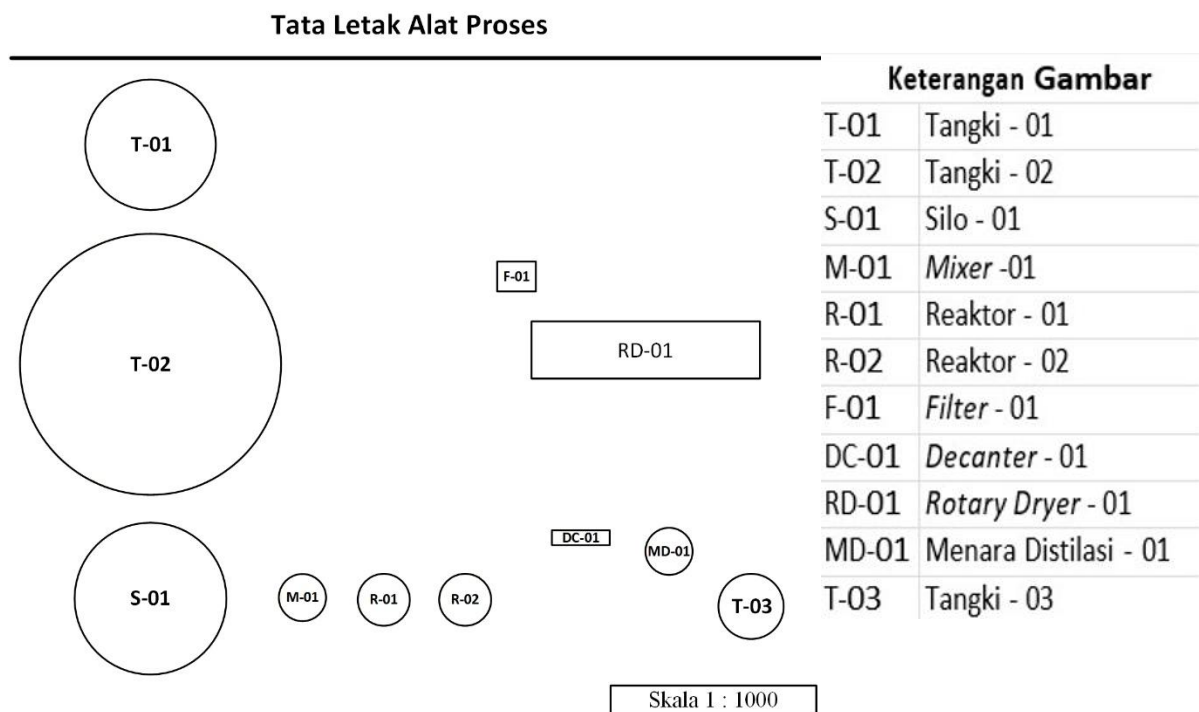
Jarak antar peralatan proses harus diatur secara optimal agar tidak terlalu sempit maupun terlalu berjauhan. Ruang yang cukup diperlukan untuk mempermudah operator dalam melakukan pengawasan, pengoperasian, serta kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan.

7. *Maintenance*

Setiap peralatan proses harus ditempatkan pada area yang mudah dijangkau untuk kegiatan inspeksi, pemeliharaan, dan perbaikan. Dengan adanya ruang kerja yang cukup di sekitar peralatan, proses maintenance dapat dilakukan dengan lebih aman dan tidak mengganggu operasi unit proses lainnya.

8. Faktor Keselamatan

Keselamatan kerja merupakan aspek penting dalam perancangan tata letak mesin. Peralatan yang beroperasi menggunakan bahan kimia mudah terbakar atau pada kondisi operasi tertentu harus ditempatkan pada area yang aman dan dilengkapi dengan sistem pengamanan yang memadai. Selain itu, jalur evakuasi dan fasilitas keselamatan seperti *fire station* dan alat pemadam kebakaran juga perlu disediakan untuk mengantisipasi keadaan darurat.



Gambar 4. 3 *layout* alat proses

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Pabrik butil asetat yang direncanakan akan didirikan dalam bentuk Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan badan usaha berbadan hukum yang modalnya terbagi dalam bentuk saham dan dimiliki oleh para pemegang saham sesuai dengan jumlah modal yang ditanamkan. Kepemilikan perusahaan dibuktikan dengan kepemilikan saham, sedangkan tanggung jawab pemegang saham terbatas sebesar modal yang telah disetorkan. Dengan demikian,

risiko yang ditanggung oleh pemegang saham tidak melebihi nilai investasi yang dimiliki. Pemilihan bentuk Perseroan Terbatas (PT) didasarkan pada pertimbangan bahwa bentuk perusahaan ini lebih sesuai untuk industri kimia skala besar yang membutuhkan modal investasi tinggi, sistem pengelolaan yang profesional, serta peluang pengembangan usaha dalam jangka panjang. Selain itu, PT merupakan badan hukum yang terpisah dari pemiliknya sehingga memiliki hak, kewajiban, serta tanggung jawab hukum sendiri sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Adapun pertimbangan pemilihan bentuk Perseroan Terbatas (PT) adalah sebagai berikut:

- a. Memudahkan perusahaan dalam memperoleh modal usaha melalui penerbitan dan penjualan saham kepada investor.
- b. Tanggung jawab pemegang saham terbatas pada modal yang ditanamkan sehingga risiko kerugian pribadi dapat diminimalkan.
- c. Keberlangsungan perusahaan lebih terjamin karena perubahan atau pergantian pemegang saham tidak mempengaruhi jalannya operasional perusahaan.
- d. Adanya pemisahan yang jelas antara kepemilikan perusahaan dan pengelolaan perusahaan, sehingga kegiatan operasional dapat dijalankan secara lebih profesional.
- e. Memudahkan perusahaan dalam memperoleh sumber pendanaan dari lembaga keuangan atau perbankan karena statusnya sebagai badan hukum.
- f. Memungkinkan perusahaan untuk melakukan pengembangan usaha dan peningkatan kapasitas produksi di masa mendatang melalui penambahan modal.

- g. Pemegang saham dapat memilih dewan komisaris dan direksi yang memiliki kompetensi, pengalaman, dan kemampuan manajerial yang baik untuk mengelola perusahaan.
- h. Struktur organisasi perusahaan menjadi lebih jelas sehingga pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab dapat dilaksanakan secara efektif.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas, organ utama perusahaan terdiri atas Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS), Dewan Komisaris, dan Direksi. RUPS merupakan pemegang kekuasaan tertinggi dalam perusahaan yang bertugas menetapkan kebijakan umum perusahaan. Dewan Komisaris bertugas melakukan pengawasan terhadap kinerja Direksi, sedangkan Direksi bertanggung jawab atas pengelolaan dan operasional perusahaan sehari-hari. Dengan memilih bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT), diharapkan pabrik butil asetat dapat dikelola secara profesional, memiliki kemampuan pendanaan yang kuat, serta mampu berkembang secara berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan pasar di masa mendatang.

4.4.2 Struktur Organisasi

Struktur organisasi merupakan suatu sistem yang mengatur pembagian tugas, wewenang, tanggung jawab, serta hubungan kerja antarbagian dalam perusahaan. Struktur organisasi yang baik sangat diperlukan untuk menciptakan koordinasi dan komunikasi yang efektif sehingga seluruh kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan dengan lancar dan tujuan perusahaan dapat tercapai secara optimal. Selain itu, struktur organisasi yang jelas akan mempermudah

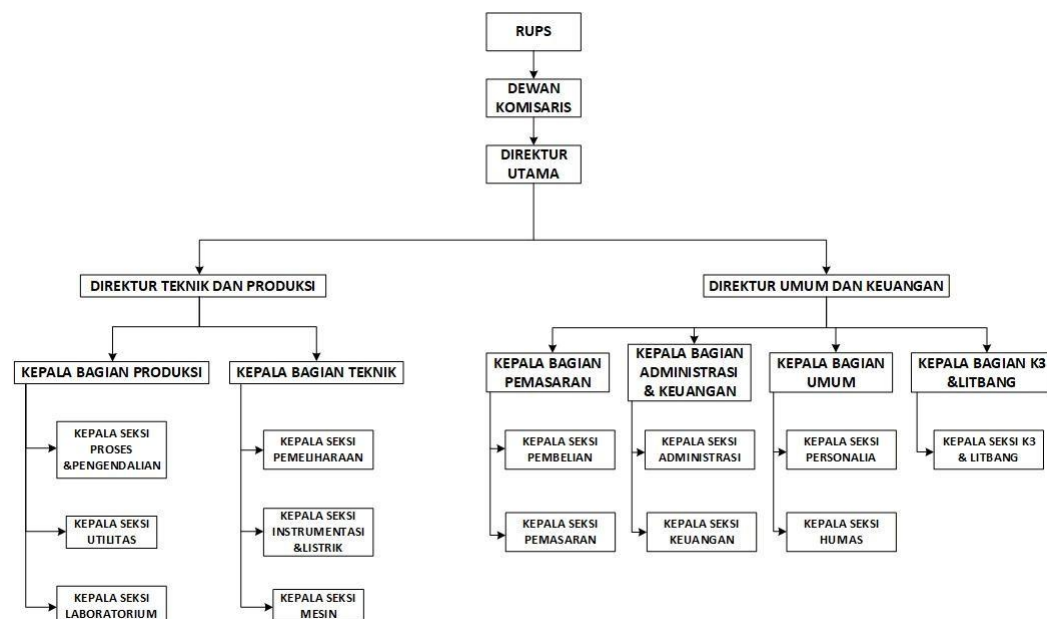
proses pengawasan, pengambilan keputusan, serta pelaksanaan tugas oleh setiap bagian sesuai dengan fungsinya masing-masing.

Pabrik butil asetat yang direncanakan menggunakan struktur organisasi garis dan staf (line and staff organization). Struktur organisasi ini dipilih karena sesuai untuk industri kimia berskala besar yang memiliki kegiatan operasional kompleks dan membutuhkan dukungan tenaga ahli di berbagai bidang. Pada sistem garis, hubungan wewenang berlangsung secara langsung dari pimpinan kepada bawahan sehingga proses koordinasi dan pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan cepat. Sementara itu, sistem staf berfungsi memberikan bantuan, saran, dan pertimbangan teknis kepada pimpinan sesuai dengan bidang keahliannya tanpa memiliki wewenang komando secara langsung.

Dalam struktur organisasi pabrik butil asetat, kekuasaan tertinggi berada pada Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) sebagai pemilik modal perusahaan. RUPS bertugas menetapkan kebijakan umum perusahaan serta mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris dan Direksi. Dewan Komisaris berfungsi melakukan pengawasan terhadap jalannya perusahaan dan memberikan masukan kepada Direksi dalam pelaksanaan kegiatan perusahaan. Operasional perusahaan dipimpin oleh Direktur Utama yang bertanggung jawab atas seluruh kegiatan perusahaan. Dalam menjalankan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh Direktur Teknik dan Produksi serta Direktur Umum dan Keuangan. Direktur Teknik dan Produksi bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan yang berkaitan dengan proses produksi dan pemeliharaan fasilitas pabrik. Direktur ini membawahi Kepala Bagian Produksi dan Kepala Bagian Teknik. Kepala Bagian Produksi

mengoordinasikan Seksi Proses dan Pengendalian, Seksi Utilitas, serta Seksi Laboratorium. Sementara itu, Kepala Bagian Teknik membawahi Seksi Pemeliharaan, Seksi Instrumentasi dan Listrik, serta Seksi Mesin yang bertugas menjaga keandalan peralatan dan fasilitas pabrik. Direktur Umum dan Keuangan bertanggung jawab terhadap kegiatan administrasi, keuangan, pemasaran, sumber daya manusia, serta penelitian dan pengembangan perusahaan. Direktur ini membawahi Kepala Bagian Pemasaran, Kepala Bagian Administrasi dan Keuangan, Kepala Bagian Umum, serta Kepala Bagian K3 dan Litbang. Masing-masing kepala bagian membawahi seksi-seksi yang bertanggung jawab melaksanakan tugas operasional sesuai bidangnya.

Dengan penerapan struktur organisasi garis dan staf, diharapkan pembagian tugas, tanggung jawab, dan wewenang dalam pabrik butil asetat dapat terlaksana secara jelas dan terkoordinasi dengan baik sehingga kegiatan produksi, pengelolaan sumber daya, serta pengembangan perusahaan dapat berjalan secara efektif dan efisien.



Gambar 4. 4 struktur organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

1. Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)

Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) merupakan organ perusahaan yang memiliki kedudukan tertinggi dalam struktur organisasi Perseroan Terbatas (PT). RUPS berfungsi sebagai wadah bagi para pemegang saham untuk menetapkan kebijakan strategis perusahaan serta melakukan pengawasan terhadap jalannya perusahaan melalui laporan yang disampaikan oleh Direksi dan Dewan Komisaris. RUPS diselenggarakan secara berkala, sekurang-kurangnya satu kali dalam satu tahun, dan dapat dilaksanakan sewaktu-waktu apabila terdapat kepentingan perusahaan yang memerlukan keputusan segera.

Sebagai pemegang kekuasaan tertinggi dalam perusahaan, RUPS memiliki beberapa wewenang dan tanggung jawab, yaitu:

- a. Mengevaluasi dan menerima laporan pertanggungjawaban Direksi dan Dewan Komisaris atas pelaksanaan tugas dan kinerja perusahaan.
- b. Mengangkat, memberhentikan, serta menetapkan penggantian anggota Direksi dan Dewan Komisaris sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- c. Mengesahkan laporan tahunan perusahaan yang meliputi laporan kegiatan operasional, kondisi keuangan, serta laporan laba rugi perusahaan.
- d. Menetapkan penggunaan laba perusahaan, baik untuk pembagian dividen kepada pemegang saham, pembentukan dana cadangan, maupun pengembangan dan investasi perusahaan.
- e. Menentukan kebijakan umum yang berkaitan dengan arah dan pengembangan perusahaan di masa mendatang.

2. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris merupakan organ perusahaan yang mewakili kepentingan para pemegang saham dan diangkat melalui keputusan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Dewan Komisaris bertugas melakukan pengawasan terhadap pengelolaan perusahaan yang dilakukan oleh Direksi serta memberikan masukan guna mendukung tercapainya tujuan perusahaan. Dalam menjalankan tugasnya, Dewan Komisaris bertanggung jawab kepada RUPS sebagai representasi pemegang saham. Adapun tugas dan wewenang Dewan Komisaris meliputi:

- a. Menelaah, mengevaluasi, dan memberikan persetujuan terhadap kebijakan umum perusahaan, rencana kerja, target perusahaan, strategi pemasaran, serta program pengembangan yang diajukan oleh Direksi.
- b. Melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan kegiatan operasional perusahaan dan memastikan seluruh aktivitas perusahaan berjalan sesuai dengan kebijakan yang telah ditetapkan.
- c. Memberikan saran, pertimbangan, dan masukan kepada Direksi, khususnya Direktur Utama, dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan kepentingan dan keberlangsungan perusahaan.
- d. Memantau kinerja Direksi dalam menjalankan tugas dan tanggung jawabnya serta memastikan pengelolaan perusahaan dilakukan secara efektif dan profesional.
- e. Membantu menjaga kepentingan pemegang saham melalui pengawasan terhadap pelaksanaan strategi dan kebijakan perusahaan.

3. Direktur Utama

Direktur Utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan yang bertanggung jawab atas seluruh kegiatan operasional dan pengelolaan perusahaan. Direktur Utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris dalam menjalankan kebijakan dan mencapai tujuan perusahaan yang telah ditetapkan oleh Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Adapun tugas dan wewenang Direktur Utama adalah sebagai berikut:

- a. Memimpin dan mengoordinasikan seluruh kegiatan perusahaan agar berjalan secara efektif dan efisien.
- b. Menetapkan serta mengawasi pelaksanaan kebijakan perusahaan sesuai dengan keputusan RUPS.
- c. Mengembangkan perusahaan melalui perencanaan dan strategi yang mendukung kemajuan usaha.
- d. Mewakili perusahaan dalam menjalin hubungan dan kerja sama dengan pihak luar.
- e. Mengawasi pelaksanaan tugas setiap bagian dalam perusahaan untuk mencapai target yang telah ditetapkan.

Dalam pelaksanaan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh:

a. Direktur Produksi dan Teknik

Direktur Teknik dan Produksi bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam mengelola dan mengawasi seluruh kegiatan yang berkaitan dengan proses produksi, teknik, utilitas, pemeliharaan, serta laboratorium. Direktur ini bertugas memastikan seluruh fasilitas produksi beroperasi secara optimal sehingga target produksi perusahaan dapat tercapai dengan baik.

Dalam melaksanakan tugasnya, Direktur Teknik dan Produksi dibantu oleh dua kepala bagian, yaitu:

1) Kepala Bagian Produksi

Kepala Bagian Produksi bertanggung jawab atas perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan kegiatan produksi agar berlangsung secara efektif dan sesuai dengan target yang ditetapkan. Selain itu, bagian ini juga mengawasi kegiatan pengendalian proses, penyediaan utilitas, serta pengujian kualitas produk di laboratorium. Kepala Bagian Produksi dibantu oleh:

- a) Seksi Proses dan Pengendalian
- b) Seksi Utilitas
- c) Seksi Laboratorium

2) Kepala Bagian Teknik

Kepala Bagian Teknik bertanggung jawab terhadap pengelolaan fasilitas dan peralatan pabrik agar selalu berada dalam kondisi operasi yang baik. Bagian ini juga mengawasi kegiatan pemeliharaan, perbaikan, serta sistem instrumentasi dan kelistrikan yang mendukung proses produksi. Kepala Bagian Teknik dibantu oleh:

- a) Seksi Pemeliharaan
- b) Seksi Instrumentasi dan Listrik
- c) Seksi Mesin

b. Direktur Umum dan Keuangan

Direktur Umum dan Keuangan bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam mengelola dan mengawasi seluruh kegiatan yang berkaitan dengan administrasi, keuangan, sumber daya manusia, pemasaran, hubungan masyarakat, keamanan, serta keselamatan kerja di lingkungan perusahaan. Direktur ini berperan dalam mendukung kelancaran operasional perusahaan dari aspek manajerial dan administratif.

Dalam menjalankan tugasnya, Direktur Umum dan Keuangan dibantu oleh empat kepala bagian, yaitu:

1) Kepala Bagian Pemasaran

Kepala Bagian Pemasaran bertanggung jawab terhadap kegiatan pengadaan bahan baku serta pemasaran produk perusahaan agar kebutuhan produksi dan target penjualan dapat tercapai. Kepala Bagian Pemasaran dibantu oleh:

a) Seksi Pembelian

b) Seksi Pemasaran

2) Kepala Bagian Administrasi dan Keuangan

Kepala Bagian Administrasi dan Keuangan bertugas mengelola seluruh kegiatan administrasi perusahaan, pencatatan keuangan, serta pengelolaan anggaran dan penggajian karyawan. Kepala Bagian Administrasi dan Keuangan dibantu oleh:

a) Seksi Administrasi

b) Seksi Keuangan

3) Kepala Bagian Umum

Kepala Bagian Umum bertanggung jawab dalam pengelolaan sumber daya manusia, hubungan 80 perusahaan, serta pengamanan lingkungan 80 perusahaan untuk mendukung kelancaran kegiatan operasional. Kepala Bagian Umum dibantu oleh:

- a) Seksi Personalia
- b) Seksi Hubungan Masyarakat (Humas)
- c) Seksi Keamanan

4) Kepala Bagian K3 dan Litbang

Kepala Bagian K3 dan Litbang bertanggung jawab terhadap penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) serta kegiatan penelitian dan pengembangan yang bertujuan meningkatkan kinerja dan efisiensi perusahaan. Kepala Bagian K3 dan Litbang dibantu oleh:

- a) Seksi K3
- b) Seksi Litbang

4.4.4 Pengaturan Jam Kerja

Pabrik butil asetat yang dirancang beroperasi secara kontinu selama 330 hari per tahun dengan waktu operasi 24 jam per hari. Sisa hari dalam satu tahun digunakan untuk kegiatan pemeliharaan peralatan (*maintenance*), perbaikan fasilitas, inspeksi, serta penghentian operasi sementara (*shut down*) yang bertujuan untuk menjaga keandalan proses dan memperpanjang umur pakai peralatan pabrik.

Untuk menjamin kelancaran kegiatan produksi dan operasional perusahaan, diperlukan pengaturan jam kerja karyawan yang terstruktur. Pembagian jam kerja dilakukan agar seluruh kegiatan produksi, pengawasan, administrasi, dan pemasaran dapat berlangsung secara efektif dan berkesinambungan. Berdasarkan sistem kerjanya, karyawan di pabrik butil asetat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu karyawan *non-shift* dan karyawan *shift*.

1. Karyawan *Non-Shift*

Karyawan *non-shift* merupakan tenaga kerja yang tidak terlibat secara langsung dalam pengoperasian proses produksi sehari-hari. Kelompok karyawan ini umumnya bertugas pada bidang manajemen, administrasi, keuangan, pemasaran, sumber daya manusia, serta fungsi pendukung lainnya. Karyawan *non-shift* bekerja selama lima hari dalam satu minggu, yaitu mulai hari Senin sampai Jumat, sedangkan hari Sabtu,

Minggu, dan hari libur nasional digunakan sebagai hari libur. Kelompok karyawan ini meliputi Direktur Utama, Direktur Teknik dan Produksi, Direktur Umum dan Keuangan, kepala bagian, serta staf administrasi dan perkantoran.

Pengaturan jam kerja karyawan *non-shift* disusun sesuai dengan kebutuhan operasional perusahaan dan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku sehingga dapat mendukung efektivitas dan produktivitas kerja. Ketentuan jam kerja karyawan *non-shift* selanjutnya disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Jadwal kerja karyawan *non-shift*

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin – Kamis	08:00 - 16:00	12:00 -13:00
Jum'at	08:00 - 17:00	11:00 - 13:00

2. Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* merupakan tenaga kerja yang terlibat langsung dalam kegiatan operasional pabrik dan bertanggung jawab menjaga kelangsungan proses produksi selama pabrik beroperasi. Kelompok karyawan ini meliputi operator proses, petugas utilitas, personel laboratorium, teknisi tertentu, operator unit pengolahan limbah, serta petugas keamanan yang bertugas secara bergantian sesuai jadwal yang telah ditetapkan.

Karena pabrik butil asetat beroperasi secara kontinu selama 24 jam per hari, maka diperlukan sistem kerja bergilir (*shift*) untuk menjamin kelancaran proses produksi dan menjaga kestabilan operasi pabrik. Pembagian jam kerja karyawan *shift* diatur dalam beberapa periode kerja yang dilaksanakan secara bergantian. Pengaturan ini dilakukan agar setiap karyawan memperoleh waktu kerja dan waktu istirahat yang seimbang sesuai dengan ketentuan ketenagakerjaan yang berlaku.

Adapun pembagian jam kerja karyawan *shift* dalam satu hari ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4. 3 Jadwal kerja setiap kelompok *shift*

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

Tabel 4. 3Jadwal kerja setiap kelompok *shift* (lanjutan)

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

Keterangan :

P = *Shift* Pagi

S = *Shift* Sore

M = *Shift* Malam

L = Libur

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Jumlah karyawan pada pabrik butil asetat ditentukan berdasarkan kebutuhan setiap bagian agar kegiatan produksi dan operasional perusahaan dapat berjalan dengan baik. Penentuan jumlah tenaga kerja dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas pabrik, sistem kerja, serta tugas dan tanggung jawab masing-masing bagian.

Sistem gaji diberikan sesuai dengan jabatan, tingkat keahlian, dan tanggung jawab karyawan. Adapun rincian jumlah karyawan dan sistem penggajian yang digunakan pada pabrik butil asetat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 4 jumlah tenaga kerja dan gaji karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (/orang/bulan)	Gaji (/bulan)
1	Dewan Komisaris	1	Rp40.000.000	Rp40.000.000
2	Direktur Utama	1	Rp35.000.000	Rp35.000.000
3	Direktur Produksi dan Teknik	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
4	Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
5	Kepala Bagian Pemasaran	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
6	Kepala Bagian Teknik	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
7	Kepala Bagian Produksi	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
8	Kepala Bagian Administrasi dan Keuangan	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
9	Kepala Bagian Umum	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
10	Kepala Bagian K3 dan litbang	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
11	Kepala Seksi Proses dan Pengendalian	1	Rp18.000.000	Rp18.000.000
12	Kepala Seksi Utilitas	1	Rp18.000.000	Rp18.000.000
13	Kepala Seksi Laboratorium	1	Rp18.000.000	Rp18.000.000
14	Kepala Seksi Pemeliharaan	1	Rp18.000.000	Rp18.000.000
15	Kepala Seksi Instrumentasi dan Listrik	1	Rp18.000.000	Rp18.000.000
16	Kepala Seksi Mesin	1	Rp18.000.000	Rp18.000.000
17	Kepala Seksi Pembelian	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
18	Kepala Seksi Pemasaran	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
19	Kepala Seksi Administrasi	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
20	Kepala Seksi Keuangan	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
21	Kepala Seksi Personalia	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
22	Kepala Seksi Humas	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
23	Kepala Seksi Keamanan	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
24	Kepala Seksi K3	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
25	Kepala Seksi Litbang	1	Rp14.000.000	Rp14.000.000
26	Karyawan Proses dan Utilitas	44	Rp7.000.000	Rp308.000.000
27	Karyawan Laboratorium	4	Rp6.500.000	Rp26.000.000
28	Karyawan Pemeliharaan	4	Rp6.500.000	Rp26.000.000
29	Karyawan Pembelian	3	Rp6.500.000	Rp19.500.000
30	Karyawan Pemasaran	2	Rp6.500.000	Rp13.000.000
31	Karyawan Administrasi	3	Rp6.500.000	Rp19.500.000
32	Karyawan Kas	2	Rp6.500.000	Rp13.000.000
33	Karyawan Personalia	2	Rp6.500.000	Rp13.000.000
34	Karyawan Humas	2	Rp6.500.000	Rp13.000.000
35	Karyawan Keamanan	4	Rp6.500.000	Rp26.000.000
36	Karyawan K3	6	Rp6.500.000	Rp39.000.000
37	Karyawan UPL	4	Rp6.500.000	Rp26.000.000
38	Supir	4	Rp3.700.000	Rp14.800.000
39	Librarian	2	Rp3.700.000	Rp7.400.000
40	<i>Cleaning Service</i>	6	Rp3.700.000	Rp22.200.000
41	Dokter	2	Rp7.500.000	Rp15.000.000
42	Perawat	2	Rp4.500.000	Rp9.000.000
Total		121	Rp590.600.000	Rp1.099.400.000

4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

Perusahaan memberikan berbagai hak dan fasilitas kepada karyawan sebagai bentuk dukungan terhadap kesejahteraan, keselamatan, serta kenyamanan kerja.

Fasilitas yang diberikan meliputi:

1. Hak Cuti

a. Cuti Tahunan

Setiap karyawan berhak memperoleh cuti tahunan selama 12 hari dalam satu tahun kerja. Hak cuti tersebut harus digunakan dalam tahun yang bersangkutan dan tidak dapat diakumulasikan pada tahun berikutnya.

b. Cuti Bersama

Perusahaan menetapkan cuti bersama selama 4 hari dalam satu tahun yang umumnya diberikan pada saat Hari Raya Idul Fitri, sehingga karyawan dapat merayakan hari besar bersama keluarga.

c. Cuti Melahirkan

Karyawan wanita diberikan hak cuti melahirkan selama 3 bulan dengan tetap memperoleh gaji sesuai ketentuan perusahaan dan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku.

2. Libur Nasional

Hari libur nasional berlaku bagi seluruh karyawan non-shift. Bagi karyawan shift yang tetap menjalankan tugas operasional pada hari tersebut, akan diberikan kompensasi sesuai ketentuan lembur yang berlaku di perusahaan.

3. Lembur

Kerja lembur dilakukan apabila terdapat kebutuhan operasional tertentu dan harus mendapatkan persetujuan dari atasan atau kepala bagian yang bersangkutan. Karyawan yang melakukan lembur berhak memperoleh upah lembur sesuai peraturan perusahaan.

4. Seragam Kerja

Perusahaan menyediakan dua pasang seragam kerja setiap tahun bagi setiap karyawan. Selain itu, perusahaan juga menyediakan alat pelindung diri yang diperlukan untuk menunjang keselamatan kerja selama berada di lingkungan pabrik.

5. BPJS Ketenagakerjaan

Seluruh karyawan diikutsertakan dalam program jaminan sosial ketenagakerjaan yang mencakup perlindungan terhadap kecelakaan kerja, jaminan hari tua, serta manfaat lainnya sesuai ketentuan yang berlaku.

6. Fasilitas Penunjang untuk Karyawan

a. Transportasi

Perusahaan menyediakan sarana transportasi bagi karyawan untuk mendukung mobilitas menuju dan dari lokasi pabrik.

b. Poliklinik

Fasilitas poliklinik disediakan untuk memberikan pelayanan kesehatan dasar kepada karyawan selama jam kerja.

c. Tempat Ibadah

Perusahaan menyediakan tempat ibadah yang memadai guna mendukung pelaksanaan kegiatan keagamaan karyawan.

d. Koperasi Karyawan

Koperasi karyawan disediakan untuk membantu memenuhi kebutuhan sehari-hari serta meningkatkan kesejahteraan karyawan.

e. Kantin

Kantin perusahaan menyediakan makanan dan minuman bagi karyawan selama jam kerja dengan harga yang terjangkau.

7. Penghargaan Masa Kerja

Sebagai bentuk apresiasi terhadap loyalitas dan pengabdian karyawan, perusahaan memberikan penghargaan kepada karyawan yang telah mencapai masa kerja tertentu. Penghargaan ini diharapkan dapat meningkatkan motivasi kerja dan rasa memiliki terhadap perusahaan.

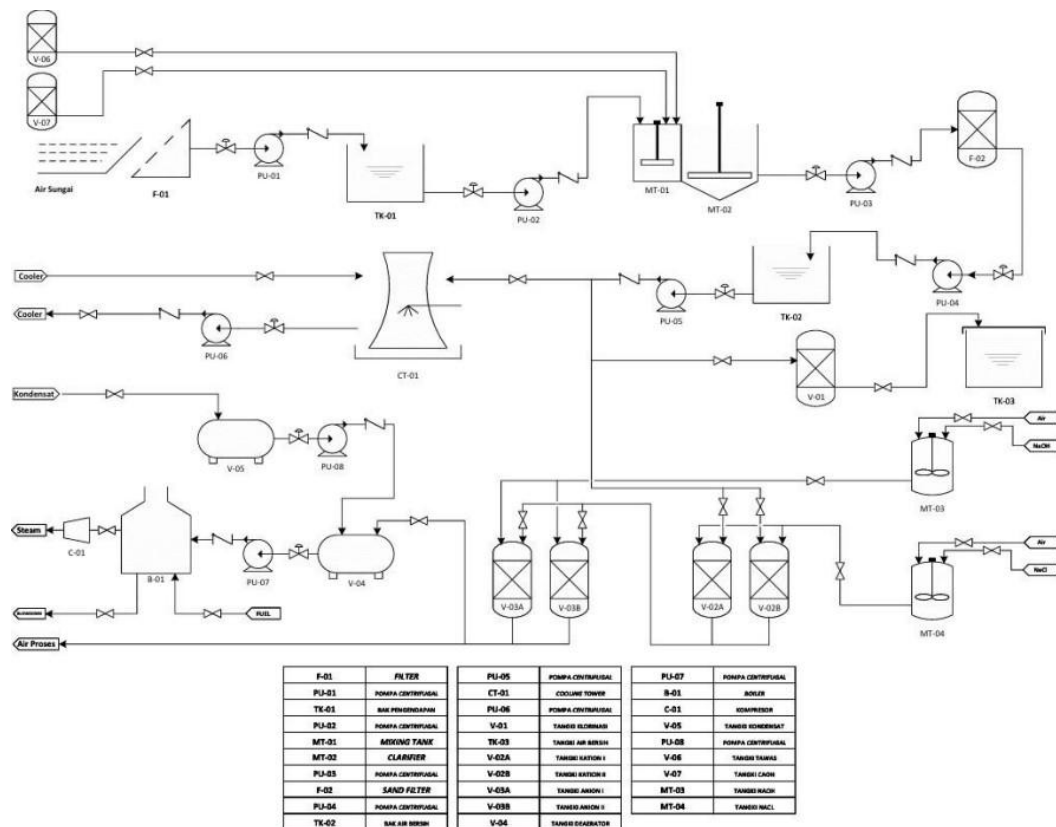
BAB V

UTILITAS

Agar proses produksi di dalam pabrik dapat berlangsung secara stabil dan berkesinambungan, diperlukan berbagai fasilitas pendukung yang mampu menjamin kelancaran operasional. Fasilitas tersebut dikenal sebagai utilitas, yaitu sistem penunjang yang menyediakan kebutuhan dasar proses seperti air, energi, dan media pendukung lainnya. Peran utilitas sangat vital karena tidak hanya membantu jalannya proses, tetapi juga menjaga efisiensi dan keandalan operasi secara keseluruhan. Tanpa adanya utilitas yang memadai, proses produksi tidak akan dapat berjalan dengan optimal meskipun bahan baku dan peralatan utama telah tersedia.

Berikut merupakan unit-unit yang ada pada utilitas:

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



Gambar 5. 1 Diagram alir Utilitas

5.1 Unit penyedia dan pengolahan air

5.1.1 Unit Penyedia Air

Untuk memenuhi kebutuhan air dalam suatu pabrik, sumber air yang digunakan umumnya berasal dari air tanah (sumur), air sungai, air danau, maupun air laut. Pada perancangan pabrik Butil Asetat ini, sumber air yang dipilih adalah air Sungai Kendal. Pemilihan air sungai didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

- Ketersediaan air sungai yang relatif kontinu sehingga dapat menjamin pasokan air dan meminimalkan risiko kekurangan air selama operasi pabrik.

- b. Proses pengolahan air sungai cenderung lebih sederhana dan ekonomis dibandingkan dengan pengolahan air laut yang membutuhkan teknologi lebih kompleks serta biaya yang lebih tinggi.

Pada umumnya kebutuhan air pada pabrik digunakan untuk keperluan:

1. Air Pendingin

Air pendingin dihasilkan dari unit menara pendingin (*cooling tower*). Pada unit ini, air mengalami proses penurunan suhu sehingga dapat digunakan sebagai media pendingin pada peralatan proses seperti *heat exchanger* dan peralatan lain yang memerlukan pendinginan.

Air yang telah digunakan dalam proses perpindahan panas akan dialirkan kembali ke *cooling tower* untuk didinginkan ulang sebelum digunakan kembali dalam sistem sirkulasi. Dalam pemanfaatan air sungai sebagai air pendingin, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

- Adanya partikel berukuran besar seperti kotoran, organisme air, dan material tersuspensi lainnya.
- Kandungan partikel berukuran kecil seperti alga dan mikroorganisme yang dapat menyebabkan *fouling*.

Secara umum, air banyak digunakan sebagai media pendingin karena beberapa keunggulan berikut:

- Ketersediaannya melimpah di alam.
- Mudah diolah dan dikontrol penggunaannya.

- Memiliki kapasitas panas yang tinggi sehingga efektif dalam menyerap panas.
- Stabil terhadap perubahan temperatur dalam rentang operasi tertentu
- Tidak mengalami dekomposisi selama digunakan sebagai media pendingin.

2. Air Umpan *Boiler*

Untuk memenuhi kebutuhan air umpan *boiler*, digunakan sumber air yang berasal dari air sungai. Agar *boiler* dapat beroperasi dengan baik serta terhindar dari kerusakan, terdapat beberapa aspek kualitas air yang perlu diperhatikan, antara lain:

- Zat penyebab korosi
Korosi pada *boiler* umumnya disebabkan oleh adanya zat-zat bersifat asam serta gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S , dan NH_3 yang masuk akibat proses aerasi maupun kontak dengan udara. Keberadaan zat-zat tersebut dapat merusak material *boiler* secara bertahap.
- Zat pembentuk kerak (*scaling*) Kerak terbentuk akibat adanya kandungan kesadahan dalam air, terutama garam-garam kalsium dan magnesium, serta silika yang mengendap pada suhu tinggi. Endapan ini dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas pada *boiler*.
- Zat penyebab pembusaan (*foaming*) Pembentukan busa biasanya terjadi karena adanya senyawa organik yang tidak larut dalam jumlah cukup besar. Kondisi ini cenderung meningkat pada air dengan tingkat alkalinitas tinggi dan dapat mengganggu operasi *boiler*.

3. Air Sanitasi

Air sanitasi merupakan air yang digunakan untuk berbagai kebutuhan umum seperti perumahan, perkantoran, laboratorium, serta tempat ibadah. Air yang digunakan untuk keperluan ini harus memenuhi standar kualitas yang berlaku agar aman dan layak digunakan. Adapun persyaratan kualitas air sanitasi meliputi:

a. Syarat fisik

- Suhu : lebih rendah atau mendekati suhu udara sekitar
- Warna : jernih
- Rasa : tidak memiliki rasa
- Bau : tidak berbau

b. Syarat kimia

- Tidak mengandung zat organik maupun anorganik terlarut dalam jumlah berbahaya
- Tidak mengandung zat beracun
- Tidak mengandung mikroorganisme patogen yang dapat membahayakan kesehatan maupun karakteristik air

4. Air pemadam kebakaran dan bengkel

Ketersediaan air untuk pemadam kebakaran merupakan hal yang wajib di setiap pabrik sebagai langkah antisipasi terhadap potensi kebakaran. Dengan adanya sistem ini, kejadian kebakaran dapat ditangani secara cepat dan efektif sehingga meminimalkan kerugian.

Oleh karena itu, air pemadam kebakaran harus selalu disiapkan dan disimpan dalam sistem penyediaan air, seperti bak penampungan air servis. Selain untuk

pemadaman kebakaran, air ini juga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan di area bengkel.

5.1.2 Kebutuhan air

1. Air pendingin

Kebutuhan air pada pabrik butil asetat dapat dilihat pada tabel

Tabel 5. 1 Kebutuhan air pendingin

Nama Alat	Kode	Jumlah
<i>Cooler 1</i>	CL-01	6.483,53
<i>Cooler 2</i>	CL-02	23.333,78
<i>Cooler 3</i>	CL03	87.121,00
<i>Condensor 1</i>	CD-01	21.802,02
<i>Condensor 2</i>	CD-02	110.893,71
Reaktor 1	R-01	350,71
Reaktor 2	R-02	135,39
Total		250.120,15

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20%, sehingga kebutuhan air pendingin menjadi 300.144,18 kg/jam. Didapatkan juga untuk *make-up water* adalah sejumlah 2.045,97 kg/jam

2. Air steam

Kebutuhan air *steam* pada pabrik butil asetat dapat dilihat pada tabel

Tabel 5. 2 Kebutuhan *Steam*

Nama Alat	Kode	Jumlah
<i>Heater 1</i>	HE-01	374,26
<i>Heater 2</i>	HE-02	1.284,81
<i>Heater 3</i>	HE-03	630,68
<i>Reboiler</i>	RB-01	915,41
Total		3.205,17

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20%, sehingga kebutuhan air *steam* menjadi 3.846,20kg/jam. Didapatkan juga untuk *make-up water* adalah sejumlah 769,24 kg/jam

3. *Service water*

Tabel 5. 3 Kebutuhan *Service water*

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
Bengkel	12,5
Poliklinik	16,67
Laboratorium	20,83
Pemadam kebakaran	250,00
Kantin, musholla, kebun, dll	312,50
Total	612,50

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20%, sehingga kebutuhan *Service water* 735 kg/jam.

4. Air domestik

Kebutuhan air domestik meliputi kebutuhan air untuk tempat tinggal dan kebutuhan air karyawan

- Kebutuhan air karyawan

Menurut standar WHO, kebutuhan air untuk per orang adalah 100-200 liter/hari.

Diambil kebutuhan air setiap orang : 100 L/hari

Jumlah karyawan : 120 orang

Kebutuhan air total : 488,75 kg/jam

- Kebutuhan air area *mess*

Jumlah *mess* : 45

Kapasitas tiap *mess* : 3

Air untuk *mess* : 18,75 kg/jam

Sehingga total kebutuhan air domestik didapatkan sebesar 1.332,50 kg/jam

5.1.3 Unit pengolahan air

Air sungai harus melalui proses pengolahan sebelum dapat digunakan dengan tepat. Proses ini diperlukan untuk menghilangkan kontaminan atau zat-zat lain yang dapat mengganggu kualitas air. Beberapa tahapan dalam pengolahan air yaitu :

1. *Screening*

Air dari sungai dipompa dan dialirkan ke tahap awal di mana kotoran-kotoran berukuran besar seperti daun, ranting, dan sampah lainnya dipisahkan tanpa menggunakan bahan kimia. Partikel-partikel kecil yang masih tersisa akan diolah lebih lanjut pada tahapan berikutnya. Untuk memastikan bahwa alat penyaring pada proses selanjutnya tetap efektif dan tidak mudah rusak, saringan (*screen*) dipasang di sisi hisap pompa untuk meminimalisir masuknya kotoran.

2. Penggumpalan

Koagulasi adalah proses di mana partikel-partikel koloid digabungkan atau digumpalkan bersama menggunakan koagulan seperti tawas atau Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Tujuan dari proses ini adalah untuk mengubah partikel koloid menjadi netral dan membentuk endapan yang dapat disebabkan oleh gaya gravitasi. Tawas, yang merupakan garam dari asam kuat dan basa lemah, cenderung terhidrolisis dalam suasana basa dalam air. Untuk memfasilitasi proses flokulasi yang efisien, diperlukan penambahan CaOH untuk menurunkan atau menghilangkan kekerasan karbonat dalam air. Ini akan membantu menciptakan kondisi alkalis yang mendukung proses penggumpalan. Proses flokulasi sendiri bertujuan untuk mengumpulkan partikel-partikel kecil menjadi flok-flok yang

lebih besar, sehingga dapat mudah dipisahkan melalui proses sedimentasi dan filtrasi selanjutnya. Dengan demikian, penggunaan koagulan dan flokulasi merupakan tahapan penting dalam pengolahan air untuk menghasilkan air yang bersih dan aman untuk berbagai keperluan konsumsi dan industri.

3. Pengendapan

Proses pengendapan dilakukan dalam bak khusus (*clarifier*) yang bertujuan untuk mengumpulkan flok-flok yang terbentuk dari proses koagulasi-flokulasi. Flok-flok yang terbentuk ini akan mengendap di dalam bak pengendapan, di mana mereka akan terpisah dari air. Selanjutnya, endapan atau lumpur yang terbentuk ini akan dibuang dalam proses yang disebut *blowdown*. *Blowdown* adalah proses di mana endapan atau lumpur yang telah terkumpul dalam bak pengendapan dibuang dari sistem untuk menjaga kualitas dan efisiensi proses pengolahan air selanjutnya. Proses pengendapan dan *blowdown* ini penting dalam memastikan bahwa air yang dihasilkan dari pengolahan memiliki kualitas yang sesuai dengan standar yang ditetapkan, serta untuk menjaga agar sistem pengolahan air tetap efisien dan beroperasi dengan baik.

4. *Sand filter*

Air yang mengandung padatan tersuspensi dari bak pengendap masuk ke dalam alat *sand filter* untuk proses filtrasi. Tujuan dari filtrasi ini adalah untuk menghilangkan mineral-mineral seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , dan lainnya dari dalam air, menggunakan resin sebagai media filtrasi. *Sand filter* perlu dicuci (*back wash, rinse*) secara berkala ketika dianggap kotor. Proses *backwash* melibatkan arus balik air untuk membersihkan media filtrasi dari kotoran dan endapan yang

menempel, sementara proses *rinse* digunakan untuk menyeimbangkan media filtrasi sebelum kembali ke operasi normal. Filtrasi ini merupakan tahap penting dalam pengolahan air untuk memastikan air yang dihasilkan bebas dari kontaminan mineral yang dapat mempengaruhi kualitas air dan memenuhi standar kesehatan dan

5. Bak penampungan air bersih

Setelah melewati proses filtrasi, air tersebut dianggap sebagai air bersih dan disimpan dalam bak penampung air sementara sebelum didistribusikan. Bak penampung ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum air disalurkan ke pengguna akhir atau sistem distribusi yang sesuai. Berikut daftar distribusi air bersih :

- a. Air domestik dan service
- b. Air pendingin (*cooler*)
- c. Air pemanas (*steam*)

6. Klorinasi

Klorinasi air merupakan proses dimana klorin (Cl_2) atau hipoklorit ditambahkan ke dalam air. Tujuannya adalah untuk menghilangkan bakteri dan mikroba yang ada dalam air sehingga air tersebut menjadi aman untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Proses ini sangat penting dalam pengolahan air untuk memastikan bahwa air yang dikonsumsi atau digunakan oleh masyarakat bebas dari mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Klorinasi dilakukan di instalasi pengolahan air sebagai bagian dari upaya untuk menjaga kualitas air yang sehat dan aman bagi konsumen.

7. Demineralisasi

Proses demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan ion-ion yang terkandung dalam air yang telah difiltrasi untuk umpan *boiler*. Proses ini terdiri dari dua tahap, yaitu pelunakan air dan dealkalinasi. Pada tahap pelunakan air, mineral-mineral seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , dan lainnya dipisahkan dari air menggunakan kation *exchanger*. Di dalam kation *exchanger*, mineral-mineral ini diserap oleh resin *hydrogen-zeolite* yang memiliki kapasitas tertentu untuk menangkap ion-ion tersebut. Ketika resin tidak lagi mampu menangkap mineral, dilakukan proses regenerasi dengan menambahkan asam kuat H_2SO_4 . Air yang keluar dari kation *exchanger* adalah air bebas mineral yang telah diminimalkan kemungkinannya untuk membentuk *scalling*. Air yang telah melewati kation *exchanger* kemudian diproses di anion *exchanger* untuk dealkalinasi. Proses ini bertujuan untuk menangkap ion-ion negatif yang dapat menyebabkan masalah jika air basa ini dipanaskan, seperti pembentukan gas CO_2 yang dapat mengganggu kinerja *boiler* dan peralatan proses lainnya. Anion *exchanger* menggunakan resin *weakly basic* untuk menangkap ion-ion tersebut. Ketika resin mencapai kapasitas penuh, dilakukan regenerasi dengan menambahkan basa kuat NaOH . Air yang keluar dari anion *exchanger* telah bersih dari ion-ion yang tidak diinginkan. Namun, untuk digunakan sebagai umpan *boiler*, diperlukan tahapan pengolahan tambahan untuk memastikan bahwa air tersebut memenuhi standar yang diperlukan untuk mendukung kinerja dan keandalan *boiler* serta sistem proses lainnya.

8. Deaerasi

Air yang telah melalui proses demineralisasi dan akan digunakan sebagai umpan *boiler* akan mengalami proses deaerasi untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama O_2 yang dapat menyebabkan korosi pada *boiler*. Korosi ini tidak hanya dapat mempersingkat umur *boiler*, tetapi juga berpotensi menyebabkan kegagalan struktural yang serius karena pengikisan dalam *boiler* dapat menyebabkan tekanan yang tidak sesuai dengan desain. Untuk mengatasi masalah gas terlarut, seperti O_2 dan lainnya, senyawa hidrazin (N_2H_4) ditambahkan untuk mengikat gas-gas tersebut sebelum air masuk ke sistem *boiler*. Setelah proses deaerasi, air yang keluar dari deaerator dapat langsung digunakan sebagai air umpan (*boiler feed water*) dan kemudian dialirkan ke *boiler*. Di dalam *boiler*, air tersebut akan dipanaskan hingga menghasilkan *steam*. Untuk menjaga kualitas air dalam *boiler*, sistem *blowdown* dilakukan secara teratur untuk menghilangkan *suspended solid* yang terakumulasi. Air yang hilang akibat *blowdown* diganti dengan *make up water* agar memenuhi kebutuhan proses secara optimal.

5.2 Unit Pembangkit *Steam*

Unit ini hadir untuk memenuhi kebutuhan *steam* dalam proses produksi butil asetat dengan menyediakan sebuah *boiler* yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Berikut spesifikasi *boiler*:

Kapasitas : 3.846,2015 kg/jam

Jenis : *Boiler Fire Tube*

Jumlah : 1 buah

Boiler dilengkapi dengan unit economizer dan *safety valve* yang berfungsi secara otomatis. Sebelum air dari water treatment plant digunakan sebagai umpan *boiler*, air tersebut diatur untuk mengontrol kadar silika, O₂, Ca, dan Mg dengan menambahkan bahan kimia ke dalam tangki umpan *boiler*. pH air juga diatur antara 10,5 hingga 11,5 untuk menghindari korosifitas yang tinggi. Sebelum memasuki *boiler*, umpan air melewati *economizer*, sebuah alat penukar panas yang menggunakan panas dari gas sisa pembakaran batubara yang keluar dari *boiler*. Di *economizer*, air dipanaskan hingga mencapai suhu sekitar 200 °C sebelum dialirkan ke *boiler*. Di dalam *boiler*, api dari *burner* memanaskan lorong-lorong api dan pipa-pipa. Gas sisa pembakaran ini dialirkan ke *economizer* sebelum dibuang melalui cerobong asap. Proses ini memungkinkan air di dalam *boiler* menyerap panas dari dinding-dinding dan pipa-pipa, sehingga air tersebut mendidih. Uap air yang terbentuk dikumpulkan hingga mencapai tekanan sekitar 10 bar sebelum dialirkan ke *steam header* untuk didistribusikan ke berbagai area proses produksi.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan listrik di pabrik butil asetat ini dipenuhi oleh PLN, dan untuk mengatasi gangguan pasokan listrik dari PLN, pabrik juga memiliki generator internal yang menggunakan bahan bakar solar. Generator ini menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan putaran poros engkol yang didorong oleh panas dari bahan bakar solar. Tujuannya adalah untuk memastikan kelangsungan pasokan tenaga listrik yang stabil dan berkelanjutan meskipun terjadi gangguan pada

pasokan listrik dari PLN. Spesifikasi generator yang digunakan pada pabrik ini adalah :

Kapasitas : 285,62 kW

Jenis : *Boiler Steam Generator*

Jumlah : 1 buah

Berikut merupakan rincian kebutuhan listrik pabrik butil asetat:

1. Kebutuhan listrik unit proses

Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Proses

No	Nama Alat	Kode Alat	hp	kW
1	Mixer 1	M-01	0,1	0,0373
2	Reaktor 1	R-01	10,18	7,5880
3	Reaktor 2	R-02	10,04	7,4847
5	<i>Filter 1</i>	F-01	0,56	0,4195
6	<i>Rotary Dryer 1</i>	RD-01	8,89	6,6285
7	Pompa 1	P-01	0,05	0,0373
8	Pompa 2	P-02	0,25	0,1864
9	Pompa 3	P-03	0,50	0,3729
10	Pompa 4	P-04	0,50	0,3729
11	Pompa 5	P-05	0,33	0,2486
12	Pompa 6	P-06	0,17	0,1243
13	Pompa 7	P-07	1,50	1,1186
14	Pompa 8	P-08	0,75	0,5593
15	Pompa 9	P-09	0,08	0,0621
16	<i>Screw conveyor 1</i>	SC-01	0,43	0,3207
17	<i>Screw conveyor 2</i>	SC-02	0,43	0,3207
18	<i>Belt Conveyor 1</i>	BC-01	11,90	8,8774
19	<i>Blower 1</i>	BL-01	1,5	1,1186
Total			46,612	34,759

2. Kebutuhan listrik unit utilitas

Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Utilitas

No	Nama Alat	Kode Alat	hp	kW
1	Kompresor	C-01	0,167	0,1243
2	<i>Cooling tower Fan</i>	T-01	7,500	5,5928
3	Flokulator	M-01	0,333	0,2486
4	<i>Clarifier</i>	M-02	1,500	1,1186
5	Tangki NaOH	M-03	1,500	1,1186
6	Tangki NaCl	M-04	0,750	0,5593
7	Pompa 1	PU-01	20,000	14,9140
8	Pompa 2	PU-02	10,000	7,4570
9	Pompa 3	PU-03	10,000	7,4570
10	Pompa 4	PU-04	10,000	7,4570
11	Pompa 5	PU-05	7,500	5,5928
12	Pompa 6	PU-06	7,500	5,5928
13	Pompa 7	PU-07	0,500	0,3729
14	Pompa 8	PU-08	0,083	0,0621
Total			77,250	57,605

Sehingga kebutuhan total listrik unit Proses dan unit Utilitas sebesar 123,862 kW dan untuk alasan keamanan kemudian dilakukan over desain sebanyak 10%, sehingga kebutuhan total Listrik nya sebesar 136,249 kW.

3. Kebutuhan listrik alat kontrol

Power yang dibutuhkan untuk alat kontrol diperkirakan 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor.

P : 34,0262 kW

4. Kebutuhan listrik penerangan

Power yang dibutuhkan untuk penerangan diperkirakan 15% dari kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

P : 20,437 kW

5. Kebutuhan listrik peralatan kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor (AC, komputer, dll) diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P : 20,437 \text{ kW}$$

6. Kebutuhan listrik bengkel, lab, dll

Power yang dibutuhkan untuk kantor (AC, komputer, dll) diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P : 20,437 \text{ kW}$$

7. Kebutuhan listrik perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik sebesar 1200 watt. Rumah yang akan disaluri Listrik dari pabrik berjumlah 45 rumah. Maka jumlah kebutuhan Listrik untuk perumahan adalah :

$$n : 45 \text{ buah}$$

$$P : 1200 \text{ watt} \times 45$$

$$: 54 \text{ kW}$$

Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Perumahan

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	Unit Proses	51,27
2	Unit Utilitas	84,98
3	Alat kontrol	34,06
4	Penerangan	20,44
5	Kantor	20,44
6	Lab, Bengkel, dll	20,44
7	Perumahan	54,00
Total		285,62

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Di pabrik ini, udara tekan dibutuhkan untuk mengoperasikan instrumen kontrol dan alat-alat yang berfungsi secara pneumatis. Tekanan udara yang digunakan adalah 4 bar. Pabrik butil asetat ini memiliki sekitar 26 alat kontrol yang memerlukan udara tekan untuk operasionalnya. Proses pembuatan udara tekan dimulai dengan mengambil udara lingkungan yang kemudian dikompresi menggunakan *compressor* yang dilengkapi dengan *filter* udara hingga mencapai tekanan 4 bar. Udara tekan tersebut kemudian dialirkan ke alat-alat kontrol dan proses yang membutuhkannya. Total kebutuhan udara instrumen diperkirakan sekitar 79,2 m³/jam. Udara yang digunakan harus kering, sehingga setelah keluar dari blower, udara dilewatkan melalui sebuah tangki udara (bejana pengering) yang berisi silica gel untuk menghilangkan kelembaban.

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada *boiler*. Bahan bakar yang digunakan adalah solar dengan jumlah 123,540 liter per jam. Solar digunakan sebagai sumber energi utama untuk memanaskan air di dalam *boiler* hingga berubah menjadi *steam*. Penggunaan solar yang tepat dan efisien sangat penting untuk menjaga kinerja optimal *boiler* dan memastikan bahwa proses produksi di pabrik butil asetat berjalan lancar. Oleh karena itu, unit penyedia bahan bakar ini dirancang untuk memastikan pasokan solar yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan operasional *boiler*.

5.6 Unit Pengolahan Limbah

Pengelolaan limbah yang efektif sangat penting untuk mengurangi dampak lingkungan dari pabrik butil asetat dan mematuhi peraturan yang berlaku. Upaya untuk mengurangi, mendaur ulang, dan mengelola limbah dengan benar membantu dalam menjaga keberlanjutan operasional pabrik dan mendukung praktek industri yang ramah lingkungan. Limbah yang dihasilkan dapat diklasifikasikan menjadi dua :

1. Limbah cair meliputi air buangan yang mengandung zat organik, *Blowdown Cooling Water*, air *backwash filter*, dan air berminyak dari pompa. Air limbah domestik berasal dari toilet di sekitar pabrik dan perkantoran. Air tersebut dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan injeksi gas klorin. Air limbah dari laboratorium diolah terlebih dahulu melalui beberapa proses sebelum dibuang ke lingkungan karena mengandung zat-zat kimia. Proses pengolahan limbah cair ini meliputi pengolahan fisik (pengendapan, penyaringan), pengolahan kimia (penambahan bahan kimia, pengontrolan pH), dan pengolahan biologis.
2. Bahan buangan udara dan padat dari unit proses memerlukan penanganan khusus untuk mencegah pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi masalah ini, dibuat unit pengolahan limbah yang dirancang untuk mengelola bahan buangan padat dengan aman. Unit ini bertujuan untuk mengurangi dampak negatif pada lingkungan sekitar dengan memastikan bahwa semua limbah padat ditangani dengan cara yang aman dan sesuai dengan peraturan lingkungan. Langkah- langkah yang diambil mungkin termasuk penyaringan

udara untuk menghilangkan partikel berbahaya dan pemantauan terus-menerus untuk memastikan bahwa kualitas udara di sekitar pabrik tetap dalam batas aman.

5.7 Spesifikasi alat utilitas

Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Fungsi	Mengalirkan air dari sungai	Mengalirkan air ke Mixing Tank	Mengalirkan air ke bak saringan pasir	Mengalirkan air ke bak air bersih
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>			
bahan	<i>Comercial Steel</i>			
Kapasitas (gph)	99.794,93	95.042,80	90.516,94	90.516,94
Spesifikasi				
IPS	12	12	12	12
<i>Flow area (in²)</i>	115	115	115	115
OD (in)	12,75	12,75	12,75	12,75
ID (in)	12,09	12,09	12,09	12,09
Efisiensi (%)	83	85	80	80
Tenaga pompa (hp)	17,57	8,38	7,36	7,72
Tenaga motor (hp)	20	10	10	10

Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)

Kode	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
Fungsi	Mengalirkan air ke <i>cooling tower</i> dan tangki klorinasi	Mengalirkan air ke unit proses sebagai media pendingin	Mengalirkan air ke umpan <i>boiler</i>	Mengalirkan kondensat sebagai umpan <i>boiler</i>
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>			
bahan	<i>Comercial Steel</i>			
Kapasitas (gph)	88.742,10	77.204,96	1.137,75	989,34
Spesifikasi				
IPS	12	12	2	2
<i>Flow area (in²)</i>	115	115	3,35	3,35
OD (in)	12,75	12,75	2,38	2,38
ID (in)	12,09	12,09	2,067	2,067
Efisiensi (%)	80	80	20	20
Tenaga pompa (hp)	4,67	3,06	0,35	0,054
Tenaga motor (hp)	7,5	5	0,5	0,833

Tabel 5. 8 Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode	Tangki Klorinasi (V-07)	Tangki Kation (V-03)	Tangki Anion (V-04)	Tangki Deaerator (V-08)	Tangki Kondensat (V-09)
Fungsi	Menghilangkan bakteri pada air menggunakan kaporit (klorin)	Menghilangkan mineral yang masih terkandung di dalam air	Menghilangkan mineral yang masih terkandung di dalam air	Menghilangkan gas CO ₂ dan O ₂ yang terikat dalam feed water	Mengumpulkan kondensat
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder horizontal	Tangki Silinder horizontal
bahan	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
Spesifikasi					
Tinggi (m)	2,6	3,4	2,2	1,9	1,9
Diameter (m)	1,3	3,4	2,2	1,9	1,9
Volume (m³)	1,9	4,1	8,3	5,9	5,9
Jenis Impeller	-	-	-	-	-
Jumlah Impeller	-	-	-	-	-
Diameter Impeller	-	-	-	-	-
Power Motor (hp)	-	-	-	-	-
Kapasita (kg)	1.599	5.000	5.000	5.000	5.000
Jumlah	1	2	2	1	1

Tabel 5. 8 Spesifikasi Tangki Utilitas (lanjutan)

Kode	Tangki Tawas (V-01)	Tangki CaOH (V-02)	Tangki NaOH (V-05)	Tangki NaCl (V-06)	Tangki air rumah tangga (V-09)
Fungsi	Menyimpan larutan alum 5% untuk 2 minggu operasi	Menyiapkan dan menyimpan larutan CaOH 5% untuk 1 minggu operasi	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar anion	Melarutkan NaCl sebagai umpan regenerasi penukar anion	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder berpengaduk	Tangki Silinder berpengaduk	Tangki silinder
bahan	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon steel</i>
Spesifikasi					
Tinggi (m)	5,4	4,4	1,8	1,07	2,9

Tabel 5. 8 Spesifikasi Tangki Utilitas (lanjutan)

Diameter (m)	2,7	2,2	1,8	1,07	2,9
Volume (m³)	30,8	16,98	4,2	0,98	19,1
Jenis Impeller	-	-	<i>Propeller standard</i>	<i>Propeller standard</i>	-
Jumlah impeller	-	-	1	1	-
Diameter Impeller (m)	-	-	0,36	0,36	-
Power Motor (hp)	-	-	0,58	0,75	-
Kapasita (kg)	-	-	375,40	120,12	678
Jumlah	1	1	1	1	1

Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak Utilitas

Kode	Bak Pengendapan awal (TK-01)	Bak penampung air bersih (TK-02)
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai	Menampung sementara air bersih setelah disaring
Jenis	Bak persegi yang diperkuat beton bertulang	Bak persegi yang diperkuat beton bertulang dan dilapisi porselin
Spesifikasi		
Panjang (m)	19,3	8,9
Lebar (m)	19,3	8,9
Tinggi (m)	9,6	4,5
Volume (m³)	3.594,8	359,3

Tabel 5. 10 Spesifikasi *Mixing tank* dan Klarifier

Kode	<i>Mixing tank</i> (MT-01)	Klarifier (CL-01)
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan	Menggumpalkan dan mengendapkan koloid yang terbawa oleh air dan pengendap awal
Jenis	Tangki Silinder berpengaduk	Tangki silinder <i>Conical Bottom</i> berpengaduk
Spesifikasi		
Tinggi (m)	4,8	10,5
Diameter (m)	4,8	10,5
Volume (m ³)	179,7	898,4
Jenis Impeller	<i>Marine propeller 3 blade</i>	<i>Marine propeller 3 blade</i>
Jumlah Impeller	1	1
Diameter Impeller (m)	1,6	3,5
Power Motor (hp)	0,33	1,5
Jumlah	1	2

Tabel 5. 11 Spesifikasi *Cooling tower*

Kode	<i>Cooling tower</i> (CT-01)
Fungsi	Mendinginkan air pendingin setelah digunakan
Jenis	<i>Induced draft cooling tower</i>
Bahan	<i>Carbon Steel</i>
Spesifikasi	
Panjang (m)	3,7
Lebar (m)	3,7
Tinggi (m)	8,8

Tabel 5. 12 Spesifikasi *Blower Cooling tower*

Kode	<i>Blower Cooling tower</i> (BL-01)
Fungsi	Menghisap udara sekeliling untuk dikontakkan dengan air yang didinginkan
Jenis	<i>Centrifugal blower</i>
Bahan	<i>Carbon steel</i>
Spesifikasi	
Kapasitas (m ³ /jam)	257558,2
Efisiensi (%)	80
Power (hp)	7,5

Tabel 5. 13 Spesifikasi *Sand Filter*

Kode	<i>Sand filterr (SF-01)</i>
Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air
Jenis	<i>Tangki silinderr</i>
Bahan	<i>Carbon steel</i>
Spesifikasi	
Vlolume (m³)	38,6
Diameter (m)	2,1
Tinggi (m)	4,3

Tabel 5. 14 Spesifikasi *Compressor*

Kode	<i>Compressor (C-01)</i>
Fungsi	Menekan udara sebanyak jumlah yang ditentukan dan mengubah tekanan menjadi yang diinginkan
Jenis	<i>Compressor Centrifugal</i>
Bahan	<i>Carbon steel</i>
Spesifikasi	
Kapasitas (kmol/jam)	0,0881
Efisiensi (%)	80
Power (hp)	0,17

Tabel 5. 15 Spesifikasi *Boiler*

Kode	<i>Boiler (B-01)</i>
Fungsi	Membuat <i>saturated steam</i>
Jenis	<i>Tangki silinder horizontal</i>
Spesifikasi	
Diameter (m)	1,7
Tinggi (m)	3,4
Volume (m³)	3,8

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Pada tahap awal perencanaan pembangunan pabrik, pelaksanaan analisis ekonomi menjadi hal yang sangat krusial untuk memperoleh estimasi kelayakan investasi modal dalam kegiatan produksi. Analisis ini mencakup evaluasi kebutuhan modal investasi, proyeksi laba yang dapat diperoleh, periode pengembalian modal, serta penentuan titik impas (*break-even point*) di mana total biaya produksi sama dengan pendapatan yang diperoleh. Tujuan utama dari analisis ekonomi ini adalah untuk menilai apakah pendirian pabrik tersebut layak secara ekonomi dan mampu memberikan keuntungan yang memadai. Dalam proses evaluasi, beberapa indikator penting yang menjadi perhatian meliputi:

1. *Return On Investment (ROI)*
2. *Pay Out Time (POT)*
3. *Discounted Cash Flow Rate (DCF Rate)*
4. *Break Even Point (BEP)*
5. *Shut Down Point (SDP)*

Sebelum melakukan analisis terhadap indikator-indikator tersebut, perlu dilakukan estimasi terhadap beberapa komponen berikut:

1. Penentuan modal industri (*Total Capital Investment*), yang meliputi:
 - a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
 - b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Total Production Cost*), yang terdiri dari:
 - a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)

b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*)

3. Pendapatan modal

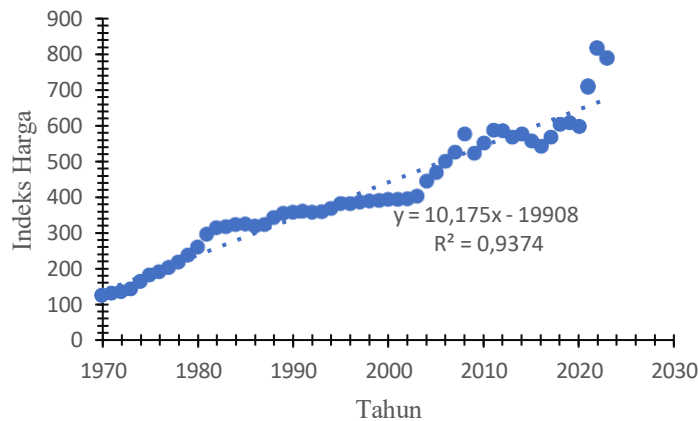
Untuk menentukan titik impas, estimasi terhadap biaya tetap (*Fixed Cost*), biaya variabel (*Variable Cost*), dan biaya mengambang (*Regulated Cost*) juga harus dilakukan.

6.1 Penafsiran harga peralatan

Penetapan harga peralatan setiap tahunnya menjadi suatu tantangan karena adanya fluktuasi kondisi ekonomi yang mempengaruhi harga tersebut. Oleh karena itu, diperlukan metode atau pendekatan yang dapat memproyeksikan harga peralatan pada tahun-tahun tertentu dengan mempertimbangkan indeks harga peralatan operasi pada periode terkait. Dalam analisis ekonomi, harga peralatan serta faktor-faktor lain dihitung berdasarkan tahun analisis yang digunakan.

Indeks harga pada tahun 201 dapat diperkirakan melali pendekatan regresi linear berdasarkan data indeks dari tahun 1970 hingga 2026. Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = 10,175x - 19.908$. Pabrik butil asetat berbahan asam asetat dan butanol dengan kapasitas produksi 10.000 ton per tahun direncanakan mulai dibangun pada tahun 2030 dan mulai beroperasi pada tahun 2031. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan regresi linear, diperoleh nilai indeks sebesar 747,25 untuk tahun 2030.

Adapun grafik plotting data tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. 1 Grafik indeks harga

Harga diperoleh dari situs matche(www.matche.com) serta beberapa referensi lainnya. Perhitungan alat pada tahun 2030 saat pabrik didirikan diperoleh dengan persamaan berikut

$$Ex = \left(\frac{Nx}{Ny} \right) Ey \quad (13)$$

Keterangan:

Ex : Harga alat pada tahun pembelian

Ey : harga alat pada tahun referensi

Nx : Indeks harga pada tahun pembelian

Ny : indeks harga pada tahun referensi

6.2 Dasar perhitungan

Pabrik butil asetat berkapasitas 10.000 ton/tahun yang menggunakan asam asetat dan butanol dapat dianggap sebagai pabrik dengan risiko rendah. Hal ini dapat disimpulkan dari kondisi operasional dan bahan baku yang digunakan. Kondisi operasionalnya yang sedang pada suhu 93°C - 170°C dan tekanan 1 – 3

atm, sementara bahan bakunya, utamanya senyawa organik, tidak membahayakan pekerja.

Analisis kelayakan pabrik dilakukan untuk menilai sejauh mana keuntungan yang dapat diperoleh, sehingga dapat diidentifikasi apakah pabrik tersebut memiliki potensi ekonomi yang tinggi atau tidak. Dalam analisis kelayakan ekonomi rancangan pabrik ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode tertentu untuk mengevaluasi faktor-faktor seperti investasi modal, estimasi laba, periode pengembalian modal, serta titik impas antara biaya produksi dan keuntungan yang diperoleh.

Kapasitas produk : 10.000 ton/tahun

Satu tahun operasi : 330 hari

Umur Pabrik : 10 tahun

Pabrik didirikan pada tahun : 2029

Kurs mata uang : 1 US \$= Rp 17.514

6.3 Komponen biaya modal (*Capital Investment*)

6.3.1 Modal (*capital investment*)

Capital investment adalah jumlah pengeluaran yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas pabrik dan untuk mengoperasikannya. *Capital investment* terdiri dari :

1. Fixed capital investment

Fixed capital investment merupakan biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik

Tabel 6. 1 *Physical plant cost (PPC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Purchase Equipments Cost</i>	117.794.776.988	6.725.750
2	<i>Installation, Insultation, Painting</i>	29.448.694.247	1.681.437
3	<i>Instrumentation and Controls</i>	7.067.686.619	403.545
4	<i>Piping</i>	11.779.477.699	672.575
5	<i>Electrical Equipment and Material</i>	11.779.477.699	672.575
6	<i>Buildings, Process and Auxiliary</i>	41.208.000.000	2.352.861
7	<i>Service Facilities and Yard</i>	47.117.910.795	2.690.300
8	<i>Land</i>	6.000.000.000	342.583
TOTAL		154.401.247.059	8.815.876

Tabel 6. 2 *Direct plant cost (DPC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Physical Plant Cost (PPC)	154.401.247.059	8.815.876
2	Engineering and Constructions	16.984.137.176	969.746
TOTAL		171.385.384.235	9.785.622

Tabel 6. 3 *Fixed capital investment (FCI)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Plant Cost</i>	171.385.384.235	9.785.622
2	<i>Contractor's Fee</i>	10.283.123.054	587.137
3	<i>Contingency</i>	8.569.269.212	489.281
TOTAL		190.237.776.501	10.862.040

2. *Working capital investment*

Working capital investment merupakan biaya yang diperlukan untuk menjalankan usaha atau modal untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik

selama waktu tertentu. Beberapa sumber modal untuk mendirikan pabrik meliputi pinjaman bank, dana pribadi, atau investasi dari pihak ketiga.

Tabel 6. 4 *Working capital investment (WCI)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (US\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	12.330.911.195	704.060
2	<i>Inprocess Inventory</i>	11.013.174.272	628.821
3	<i>Product Inventory</i>	22.026.348.544	1.257.642
4	<i>Extended Credit</i>	287.839.291	16.435
5	<i>Available cash</i>	22.026.348.544	1.257.642
	Total	67.684.621.846	3.864.601

6.3.2 Biaya produksi (*manufacturing cost*)

Manufacturing cost adalah jumlah *direct*, *indirect*, dan *fixed manufacturing cost*, yang selalu berkaitan dengan pembuatan produk yang berhubungan dengan memproduksi suatu produk dalam pabrik,

1. *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Direct cost merupakan pengeluaran yang berkaitan langsung dengan pembuatan produk yang berhubungan dengan memproduksi suatu produk dalam pabrik.

Tabel 6. 5 *Direct manufacturing cost (DMC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	135.640.023.140	7.744.663
2	<i>Labor Cost</i>	12.040.800.000	687.496
3	<i>Supervision</i>	1.204.080.000	68.750
4	<i>Maintenance</i>	3.804.755.530	217.241
5	<i>Plant Supplies</i>	380.475.553	21.724
6	<i>Royalty and Patents</i>	3.166.232.200	180.783
7	<i>Utilities</i>	24.879.796.797	1.420.566
TOTAL		181.116.163.220	10.341.222

2. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Indirect cost merupakan pengeluaran-pengeluaran tidak langsung terkait unit produksi dalam operasi pabrik.

Tabel 6. 6 *Indirect manufacturing cost (IMC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Payroll Overhead</i>	1.806.120.000	103.124
2	<i>Laboratory</i>	1.204.080.000	68.750
3	<i>Plant Overhead</i>	8.428.560.000	481.247
4	<i>Packaging and Shipping</i>	31.662.322.000	1.807.829
TOTAL		43.101.082.000	2.460.950

3. *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Fixed Cost merupakan biaya tertentu yang selalu dikeluarkan baik pada saat pabrik beroperasi maupun tidak, dengan kata lain pengeluaran yang bersifat tetap tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

Tabel 6. 7 *Fixed manufacturing cost (FMC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depreciation</i>	15.219.022.120	868.963
2	<i>Property tax</i>	1.902.377.765	108.620
3	<i>Insurance</i>	951.188.883	54.310
TOTAL		18.072.588.768	1.031.894

Tabel 6. 8 *Total manufacturing cost*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Manufacturing Cost</i>	181.116.163.220	10.341.222
2	<i>Indirect Manufacturing Cost</i>	43.101.082.000	2.460.950
3	<i>Fixed Manufacturing Cost</i>	18.072.588.768	1.031.894
TOTAL		242.289.833.987	13.834.066

6.3.3 Pengeluaran umum (*general expenses*)

Pengeluaran umum, atau *General Expenses*, mencakup biaya-biaya yang terkait dengan fungsi-fungsi perusahaan yang tidak termasuk dalam biaya produksi (*Manufacturing cost*). Biaya ini dikeluarkan untuk mendukung kelancaran operasional perusahaan secara keseluruhan.

Tabel 6. 9 *General expense (GE)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Administrasi	7.268.695.020	415.021
2	<i>Sales expense</i>	12.114.491.699	691.703
3	<i>Reearch</i>	8.480.144.190	484.192
4	<i>Finance</i>	2.579.223.983	147.266
TOTAL		30.442.554.892	1.738.184

Tabel 6. 10 Total *production cost*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Manufacturing Cost</i>	242.289.833.987	13.834.066
2	<i>General Expense</i>	30.442.554.892	1.738.184
TOTAL		272.732.388.879	15.572.250

6.4 Analisis Risiko Pabrik

Analisis risiko pabrik dilakukan untuk mengukur sejauh mana risiko yang dihadapi sebuah pabrik, apakah termasuk risiko tinggi (*high risk*) atau rendah (*low risk*), serta untuk mencari solusi terhadap setiap risiko yang teridentifikasi. Berdasarkan analisis risiko yang dilakukan, diketahui bahwa pabrik butil asetat termasuk dalam kategori risiko rendah (*low risk*) dengan alasan sebagai berikut.

1. Kondisi Operasi

Prarancangan pabrik butil asetat beroperasi pada suhu yang bervariasi antara 30°C hingga 160°C dengan tekanan operasi sekitar 1 atm hingga 3 atm. Dengan kondisi operasi yang relatif rendah tersebut, prarancangan pabrik dianggap cukup aman.

2. Bahan Baku dan Produk

Bahan baku dan produk dari prarancangan pabrik butil asetat memiliki sifat kimia yang tidak terlalu mudah terbakar dan toksisitas yang rendah.

6.5 Analisa Keuntungan

Keuntungan Sebelum Pajak

Total Penjualan	: Rp 316.623..220.000
Total <i>Production Cost</i>	: Rp 272.732.388.879
Keuntungan	: Total Penjualan – Total Biaya Produksi
	: Rp 316.623..220.000 - Rp 272.732.388.879
	: Rp 43.890.831.120

Keuntungan sesudah pajak

Pajak 20% dari keuntungan	: Rp 8.778.166.224
Keuntungan	: keuntungan sebelum pajak – pajak
	: Rp 43.890.831.120 - Rp 8.778.166.224
	: Rp 35.112.664.896

6.6 Analisa kelayakan

Untuk dapat mengetahui keuntungan yang diperoleh tergolong besar atau tidak, sehingga dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial atau tidak, maka dilakukan suatu analisa atau evaluasi kelayakan. Beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan kelayakan adalah :

1. *Return on Investment* (ROI)

Return on Investment (ROI) adalah ukuran keuntungan yang diperoleh setiap tahun dari investasi yang dilakukan. Pabrik dengan risiko rendah memiliki ROI sebelum pajak minimum sebesar 11%, sementara pabrik dengan risiko tinggi memiliki ROI sebelum pajak minimum sebesar 44%. Uang yang diperoleh atau hilang dari investasi tersebut dikenal sebagai laba/rugi atau bunga.

$$\% ROI = \frac{\text{Profit}}{\text{Fixed Capital Investment}} \times 100\% \quad (14)$$

a. ROI sebelum pajak (ROI b)

$$ROI = 23,1 \%$$

b. ROI setelah pajak (ROI a)

$$ROI = 18,46 \%$$

2. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time adalah durasi waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini berguna untuk menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dilakukan dapat kembali.

$$POT = \frac{\text{Fixed capital investment}}{\text{Keuntungan} + \text{Depresant}} \quad (15)$$

- a. POT sebelum pajak (POT b)

$$POT = 3,22 \text{ tahun}$$

- b. POT setelah pajak (POT a)

$$POT = 3,78 \text{ tahun}$$

3. Break Even Point (BEP)

Break even point adalah titik di mana total biaya dan total pendapatan adalah sama. Dengan mengetahui *break even point*, kita dapat menentukan harga jual minimum dan jumlah unit yang harus dijual untuk mencapai titik impas, serta harga per unit yang diperlukan untuk meraih keuntungan. Umumnya, nilai BEP untuk pabrik kimia berada dalam kisaran 40-60%.

$$BEP = \frac{Fa+0,3Ra}{Sa-Va-0,7Ra} \times 100\% \quad (16)$$

Dimana :

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

Tabel 6. 11 *Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depreciation</i>	15.219.022.120	868.963
2	<i>Property tax</i>	951.188.882	51.254
3	<i>Insurance</i>	1.902.377.765	108.620
TOTAL		18.072.588.767	1.031.893

Tabel 6. 12 *Annual regulated expenses (Ra)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Labor Cost</i>	12.040.800.000	687.495
2	<i>Payroll Overhead</i>	1.806.120.000	103.124
3	<i>Supervision</i>	1.204.080.000	68.749
4	<i>Plant Overhead</i>	8.428.560.000	481.247
5	<i>Laboratory</i>	1.204.080.000	68.749
6	<i>General Expenses</i>	30.442.554.892	1.738.184
7	<i>Maintenance</i>	3.804.755.530	217.240
8	<i>Plant Supplies</i>	380.475.553	21.724
TOTAL		59.311.425.975	3.386.515

Tabel 6. 13 *Annual Variable Value (Va)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	135.640.023.139	7.744.662
2	<i>Packaging and Shipping</i>	31.662.322.000	1.807.829
3	<i>Utilities</i>	24.879.796.797	1.420.566
4	<i>Royalties and Patents</i>	3.166.232.200	180.782
TOTAL		195.348.374.136	11.153.841

Tabel 6. 14 *Annual sales value (Sa)*

No	Jenis Biaya	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Annual sales value</i>	316.623.220.000	18.078.292
TOTAL		316.623.220.000	18.078.292

Dengan menggunakan data yang sudah didapatkan pada tabel diatas,maka didapatkan nilai BEP sebesar :

$$\text{BEP} = 44,97\%$$

4. *Shut Down* (SDP)

Shut Down Point adalah kondisi atau titik di mana keputusan untuk menghentikan aktivitas produksi harus diambil. Penyebabnya bisa berupa biaya variabel yang terlalu tinggi atau keputusan manajemen yang menganggap aktivitas produksi tidak ekonomis karena tidak menghasilkan keuntungan. Hal ini terjadi karena biaya melanjutkan operasi pabrik lebih besar dibandingkan dengan biaya untuk menutup pabrik dan membayar biaya tetap.

$$SDP = \frac{0,3Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (17)$$

Didapatkan $SDP = 22,3\%$

5. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR)

Discounted Cash Flow Rate of Return adalah estimasi keuntungan yang diharapkan diperoleh setiap tahun dari investasi, yang tidak dikembalikan pada akhir setiap tahun selama masa operasional pabrik. Batasan untuk DCFR adalah 1,5 kali tingkat bunga bank.

$$\frac{(WC+FCI) \times (1+i)^{10}}{CF} = (((1+i)^9 + 1+i)^8 + \dots + (1+i)1) \frac{WC+SC}{CV} \quad (18)$$

Dimana :

FCI = *Fixed capital investment*

WC = *Working capital investment*

SV = *Salvage value* = depresiasi

n = umur pabrik 10 tahun

i = nilai DCFR

Sebagai perhitungan digunakan data sebagai berikut

FCI = Rp 179.534.489.208

WC = Rp 67.556.557.164

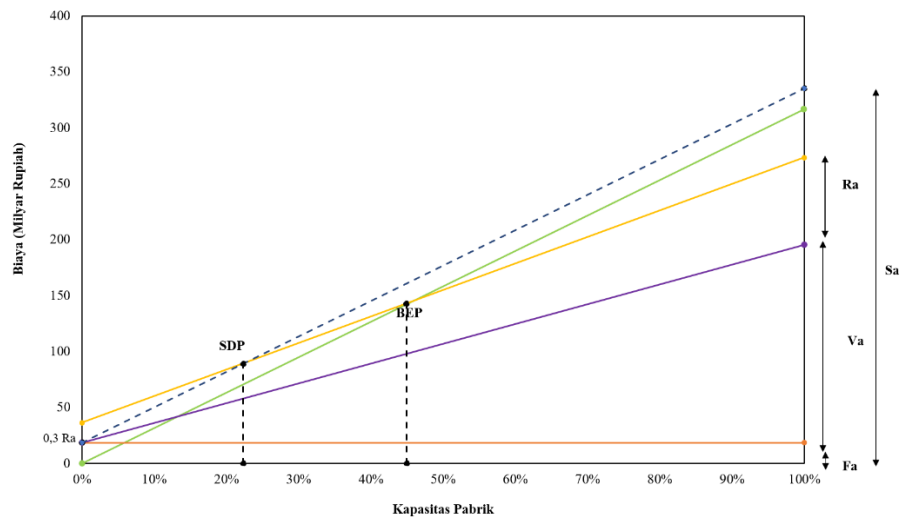
SV = Rp 17.953.448.930

n = 10 tahun

sehingga diperoleh nilai DCFR sebesar 19,68%

Tabel 6. 15 Hasil Kelayakan Ekonomi

Kriteria	Terhitung	Persyaratan	Kesimpulan
ROI	20%	Minimal 11%	Memenuhi (layak)
POT	4 tahun	Maksimal 5 tahun	Memenuhi (layak)
BEP	44%	Kisaran 40 – 60%	Memenuhi (layak)
SDP	22%	Minimal 20 %	Memenuhi (layak)
DCFR	19,68%	Minimal = 7,13% (1,5 bunga bank)	Memenuhi (layak)



Gambar 6. 2 Grafik evaluasi ekonomi

Keterangan :

F_a = *Annual Fixed Manufacturing Cost*

R_a = *Annual Regulated Expenses*

V_a = *Annual Variable Value*

S_a = *Annual Sales Value*

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan pabrik butil asetat berbahan baku asam asetat dan butanol dengan kapasitas produksi sebesar 10.000 ton per tahun, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahan baku utama berupa asam asetat dipasok oleh PT Indo Acidatama yang berlokasi di Solo, Jawa Tengah dan butanol dipasok oleh PT Petro OXO Nusantara yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur.
2. Pendirian pabrik butil asetat ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik, mengurangi ketergantungan impor, membuka peluang kerja baru, serta mendukung peningkatan pertumbuhan ekonomi.
3. Pabrik butil asetat direncanakan dibangun di Kawasan Industri Kendal, Kendal, Jawa Tengah. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan, seperti kedekatan dengan sumber bahan baku, ketersediaan tenaga kerja, peluang pengembangan pabrik, ketersediaan utilitas seperti air dan listrik.
4. Berdasarkan analisa ekonomi, maka didapatkan hasil sebagai berikut
 - a. Keuntungan yang diperoleh = Rp 43.890.831.120
 - b. *Return on investment* (ROI) = 20%
 - c. *Pay out time* (POT) = 4 tahun
 - d. *Break even point* (BEP) = 44 %

e. *Shut down point* (SDP) = 22 %

f. *Discounted cash flow* (DCFR = 19,68 %

7.2 Saran

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

1. Optimasi pemilihan seperti alat proses atau alat penunjang dan bahan baku perlu diperhatikan sehingga akan lebih mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh.
2. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan berkembangnya pabrik-pabrik yang lebih ramah lingkungan.
3. Diperlukan pengetahuan dan pemahaman yang didukung dengan referensi dan pranalar lain yang berhubungan dengan konsep dasar pendirian suatu pabrik.
4. Diharapkan produk butil asetat dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan ekspor keluar negeri dimasa yang akan mendatang dengan jumlah semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. S., and R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York McGraw Hill Book Company.
- Brown, G. G. 1973. *Unit Operations*. Modern Asia ed. Tokyo, japan : Tuttle Company Inc.
- Brownell, L.E., and E. H. Young. 1979. *Equipment Design*. New Delhi: Wiley Eastern Limited.
- Coulson, J. M., and J. F. Richardson. 1983. *Chemical Equipment Design*, Vol.6. New York: John Wiley and Sons. Inc.
- Faith, W. L., D. B. Keyes, and R. L. Clark. 1975. *Industrial Chemical*, 4th ed. New York: John Willey and Sons Inc.
- Fessenden, R. J. and J. S. Fessenden. 1982. Jakarta: Erlangga. Kimia Organik, Jilid 2, Edisi 3.
- Gangadwala, J., Manker, S., Mahajani. 2003. *Esterification of Acetic Acid Butanol in The Presence of Ion-Exchange Resins as Catalyst*. Ind, Eng, Chem, Res., 42:2146-2155.
- Geankoplis, C. J. 1978. *Transport Processes and Unit Operations*, 3rd ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall International, inc.
- Kern, D. Q. 1983. *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw Hill Book Co. Ltd.
- Kirk, R. E., and D. 153 154 F. Othmer. 1979. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*. Vol III, XV. Vol. 3. New York: John Willey and Sons Inc.
- McCabe, W. L. and J. C. Smith. 1976. *Unit Operation of Chemical Engineering*, 3rd ed. Singapore: Mc Graw Hill, Kogakusha, Ltd.
- McKetta, J.J. 1976. *Encyclopedia of Chemical Processing and Petrochemical Plant*. Singapore: McGraw - Hill International Edition.
- Melfi, D.T., K.C. Santos., L.P. Ramos., M.L. Corazza. 2020. *The Journal of Supercritical Fluids*. 158.
- Perry, R.H. and D. W. Green. 1997, *Perry's Chemical Engineering Handbooks*, 7th edition, McGraw Hill Book Co., New York.
- Peters, M. S., and K. D. Timmerhaus. 1981. *Plant Design Economic's for*

- Chemical Engineering's*, 4th ed. New York: McGraw Hill Co. Ltd.
- Smith, J. M., and H. C. Van Ness. 1987. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 4th ed. Singapore: McGraw Hill Book Company.
- Sularso dan Tahara. 1983. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sert, E., F.S. Atalay. 2010. *Determination of Adsorption and Kinetic Parameters for Butanol-Acetic Acid Esterification System Catalysed by Amberlyst 15*. *Progress in Reaction Kinetics and Mechanism*. Vol 35: 219-235.
- Toor, A. P., Sharma, M., Kumar, G., Wanchoo, R.K. 2011. *Kinetic Study of Esterification of Acetic Acid with n-butanol and isobutanol Catalyzed by Ion Exchange Resin*. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 6(1):23-30.
- Walas, S. M. 1988. *Chemical Process Equipment*. New York : Butterworth Publishers, Reed Publishing Inc.
- Yaws, Carl. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York : McGraw-Hill.

LAMPIRAN A
PERANCANGAN REAKTOR

PERANCANGAN REAKTOR

Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi antara butanol dengan asam asetat menjadi butil asetat dengan bantuan katalis amberlyst 15.

Jenis : Reaktor alir tangki berpengaduk/RATB (*Continuous Stirred Tank Reactor*)

Kondisi Operasi:

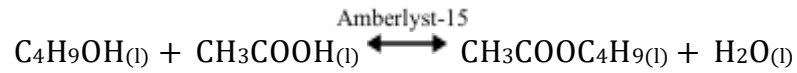
Suhu : 93°C

Tekanan : 1 atm

Alasan Pemilihan :

- a. Terdapat pengaduk sehingga suhu dan komposisi campuran sehingga reaktor yang harus selalu homogen dapat terpenuhi.
- b. Fase reaktan adalah cair-cair sehingga memungkinkan penggunaan RATB.
- c. Pengontrolan suhu mudah, sehingga kondisi operasi yang *isothermal* dapat terpenuhi.

A. Kinetika Reaksi



Reaksi dianggap berorde 2 masing-masing terhadap a dan b $(-r_a) = k.C_a.C_b$

Dengan:

$(-r_a)$ = Laju reaksi $\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$, $\text{kmol/m}^3.\text{jam}$

K = Konstanta laju reaksi, $\text{m}^3/\text{kmol}.\text{jam}$

C_a = Konsentrasi CH_3COOH , kmol/m^3

C_b = Konsentrasi $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$, kmol/m^3

Pada perancangan ini menggunakan referensi:

- Konversi sebesar = 93%
- Reaksi berlangsung dalam reaktor alir tangki berpengaduk

Menghitung densitas dan kecepatan volumetric pada $T = 93^\circ \text{C} = 366,15 \text{ K}$

$$\text{Densitas} = A[B^{-(1-T_c)}]^n$$

Komponen	A	B	n	Tc, K	ρ , kg/m ³	ρ , kg/L
C ₄ H ₉ OH	0,35182	0,26954	0,26843	592,71	968,6196	0,9686
CH ₃ COOH	0,26891	0,26674	0,2457	562,93	746,2747	0,7463
CH ₃ COOC ₄ H ₉	0,29857	0,26028	0,309	579,65	802,3782	0,8024
H ₂ O	0,3471	0,274	0,28571	647,13	962,6374	0,9626

Komponen	Massa (kg/jam)	Fraksi Massa	Mol (kmol/jam)	ρ (kg/m ³)	Fv (m ³ /jam)
C ₄ H ₉ OH	690,4885	0,1597	11,4986	968,6196	0,7213
CH ₃ COOH	4.261,3659	0,7983	57,4928	746,2747	5,7779
CH ₃ COOC ₄ H ₉	0	0	0	0	0
H ₂ O	12,5506	0,0097	0,6969	962,2347	0,0240
Amberlyst-15	731,9794	0,0323	2,3282	1.200,0000	1,0751
Total	5.033,8586	1,0000	71,0903	4.076,0000	7,5982

Menghitung Konsentrasi umpan

a. Konsentrasi CH_3COOH (C_{AO}) = 1,53

b. Konsentrasi $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ (C_{BO}) = 7,66

Diketahui :

$X_A = 93 \%$

$k = 0,026 \text{ menit}^{-1}$

B. Optimasi Reaktor

Tujuan Optimasi reaktor adalah untuk mendapatkan jumlah dan volume optimal ditinjau dari konversi dan harga reaktor.

a. Jumlah Reaktor = 1

$$V_1 = \frac{F_{A0}X_{A1}}{-r_A}$$

Diperoleh : $X_{A0} = 0$ $t = 511 \text{ menit}$

$X_{A1} = 0,93$ $V_1 = 64,71 \text{ m}^3$

b. Jumlah Reaktor = 2

$$V_1 = \frac{F_{A0}X_{A1}}{-r_A}$$

Diperoleh : $X_{A0} = 0$ $t = 122 \text{ menit}$

$X_{A1} = 0,71$ $V_1 = 15,48 \text{ m}^3$

$X_{A2} = 0,93$ $V_2 = 15,48 \text{ m}^3$

c. Jumlah Reaktor = 3

$$V_1 = \frac{F_{A0}X_{A1}}{-r_A}$$

Diperoleh : $X_{A0} = 0$ $t = 55 \text{ menit}$

$X_{A1} = 0,58$ $V_1 = 6,94 \text{ m}^3$

$X_{A2} = 0,83$ $V_2 = 6,94 \text{ m}^3$

$$X_{A3} = 0,93 \quad V_3 = 6,94 \text{ m}^3$$

d. Jumlah Reaktor =4

$$V_1 = \frac{F_{A0} X_{A1}}{-r_A}$$

$$\text{Diperoleh : } X_{A0} = 0 \quad t = 36 \text{ menit}$$

$$X_{A1} = 0,48 \quad V_1 = 4,59 \text{ m}^3$$

$$X_{A2} = 0,73 \quad V_2 = 4,59 \text{ m}^3$$

$$X_{A3} = 0,86 \quad V_3 = 4,59 \text{ m}^3$$

$$X_{A4} = 0,93 \quad V_4 = 4,59 \text{ m}^3$$

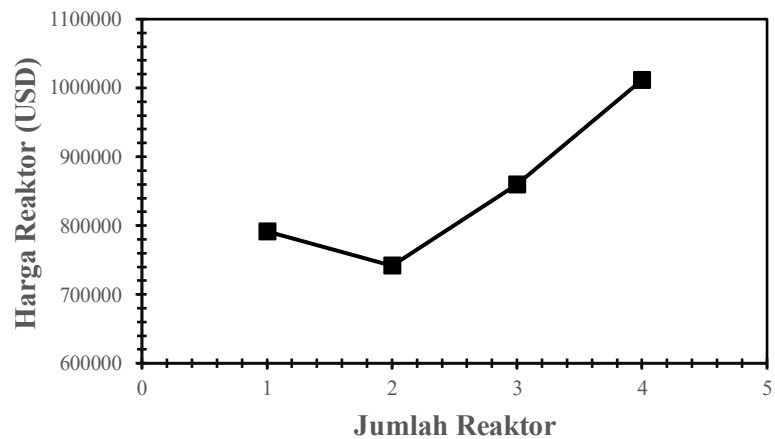
n	V (m ³)	1,2 x V
1	64,71	77,65
2	15,48	18,58
3	6,94	8,32
4	4,59	5,50

Untuk mengetahui jumlah reaktor dilakukan optimasi. Dengan menggunakan

harga reaktor yang didapat dari

<http://www.matche.com/equipcost/Reactor.html> untuk mempertimbangkan jumlah reaktor dengan harga minimal. Dipilih *stainless stell* 316 sebagai bahan pembuat reaktor.

n	V(m ³)	V (gallon)	Harga/unit (USD)	Harga Total (USD)
1	64,71	20.513	79.1400	791.400
2	15,48	4.908	370.800	741.600
3	6,94	3.021	286.700	860.100
4	4,59	2.383	252.900	1.011.600



Dilihat dari segi ekonomi, jumlah reaktor berpengaruh pada harga reaktor. Dari hasil optimasi, didapatkan harga paling ekonomis dengan menggunakan 2 buah reaktor.

C. Menghitung Neraca Massa Reaktor

Diketahui :

Basis perhitungan = 698,68 kg/jam

$X_{A1} = 71\%$

$X_{A2} = 93\%$

Rasio mol bahan baku = 1 : 5

a. Reaktor 1 (R-01)

	$C_4H_9OH_{(l)}$	+	$CH_3COOH_{(l)}$	$\longleftrightarrow$	$CH_3COOC_4H_9_{(l)}$	+	$H_2O_{(l)}$
Mula-mula	11,63		58,17		0		1,28
Reaksi	8,23		8,23		8,23		8,23
Sisa	3,40		49,94		8,23		9,51

Komponen	Input		Output	
	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam
C ₂ H ₄ O ₂	11,63	698,68	3,40	204,39
C ₄ H ₁₀ O	58,17	4.311,90	49,94	3.701,80
C ₆ H ₁₂ O ₂	0	0	8,23	956,14
H ₂ O	23,07	23,07	9,51	171,31
AMBERLYS T-15	731,90	731,90	2,33	731,90
Total	73,42	5.765,54	73,42	5.765,54

b. Reaktor 2 (R-02)

	C ₄ H ₉ OH _(l)	+	CH ₃ COOH _(l)	↔	CH ₃ COOC ₄ H ₉ _(l)	+	H ₂ O _(l)
Mula-mula	3,40		49,94		8,23		9,51
Reaksi	3,17		3,17		3,17		3,47
Sisa	0,24		46,78		11,40		12,68

Komponen	Input		Output	
	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam
C ₂ H ₄ O ₂	3,40	204,39	0,24	13,31
C ₄ H ₁₀ O	49,94	3.701,80	46,78	3.467,18
C ₆ H ₁₂ O ₂	8,23	956,14	11,40	1.323,83
H ₂ O	9,51	171,31	12,68	228,32
AMBERLYS T-15	2,33	731,90	2,33	731,90
Total	73,42	5.765,54	73,42	5.765,54

D. Menghitung Dimensi Reaktor

a. Dimensi Tangki

perancangan tangki dengan *over design* 20% sehingga volume reaktor

yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Volume Reaktor} &= 18,58 \text{ m}^3 \\ &= 656,15 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Posisi tangki reaktor vertikal dengan tutup *torispherical dished head*, serta perbandingan diameter dan tinggi reaktor yaitu, 1 : 1,5 (D:H = 1 : 1,5).

$$V_{\text{reaktor}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{head}}$$

$$V_{\text{shell}} = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot H$$

$$V_{\text{head}} = 0,000049 D^3$$

$$H = 1,5 D$$

$$V_{\text{reaktor}} = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot 1,5D + 2 (0,000049 \cdot D^3)$$

$$= D^3 \cdot \left(\frac{1,5}{4} \pi + 0,000098 \right)$$

$$V_{\text{reaktor}} = 1,1776 \cdot D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{reaktor}}}{1,1776}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{656,157 t^3}{1,1776}}$$

$$= 8,23 \text{ ft}$$

$$= 98,75 \text{ in}$$

$$= 2,51 \text{ m}$$

$$H = 1,5 D$$

$$= 1,5 \cdot 8,23 \text{ ft}$$

$$= 12,34 \text{ ft}$$

$$= 148,12 \text{ in}$$

$$= 3,8 \text{ m}$$

$$V_{\text{head}} = 0,000049 D^3$$

$$= 0,000049 \cdot (8,23 \text{ ft})^3$$

$$= 0,0273 \text{ ft}^3$$

$$= 47,18 \text{ in}^3$$

$$\begin{aligned}
H_{\text{cairan}} &= \frac{V_{\text{cairan}}}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \\
&= \frac{546,79 \text{ ft}^3}{\frac{\pi}{4} \times 8,23^2 \text{ ft}^2} \\
&= 10,29 \text{ ft} \\
&= 3,14 \text{ m}
\end{aligned}$$

b. Tebal dinding reaktor

Digunakan persamaan 13.1, Brownell & Young, 1959 hal. 254

$$ts = \frac{Pr}{fE - 0,6P} + C$$

Reaktor terdiri atas dinding (*shell*), tutup atas dan tutup bawah (*head*). *Head* atas dan *head* bawah berbentuk *torispherical*. Bahan untuk reaktor adalah *stainless steel* SA 316.

Spesifikasi :

Max.Allowable Stress (f) = 18750 psi

Efisiensi sambungan (E) = 0,8 (Tabel 13.2 brownell 1959:254)

Faktor korosi (C) = 0,125 (Tabel 6, Timmerhaus, 1991:542)

Jari-jari shell (ri) = 49,37 in

Menghitung tekanan total pada tangki

ρ = 0,048 lb/ft³

P_{total} = P_{operasi} + $P_{\text{hidrostatik}}$

P_{operasi} = 1 atm = 14,6959 psi

$P_{\text{hidrostatik}}$ = $\rho \cdot H_{\text{cairan}}$

= 0,048 lb/ft³ x 10,29 ft

= 0,49 lb/ft²

$$= 0,0034 \text{ psi}$$

$$P_{\text{total}} = 14,6959 \text{ psi} + 0,0034 \text{ psi}$$

$$= 14,6993 \text{ psi}$$

Karena tekanan *over design* 20% maka, P desain menjadi 17,6392 psi. Dari data-data di atas sehingga dapat diperoleh tebal *shell* (ts) = 0,1831 in Dari Tabel Brownell hal 350 tentang tebal *shell*, dipilih Ts standart = 5/16 in

c. Dimensi *Head*

$$th = \frac{P \cdot rc \cdot W}{2 \cdot f \cdot E - 0,2P} + C$$

Dimana:

th = tebal *head*, m

W = faktor intensifikasi untuk jenis *head*

f = *allowanle stress* = 18750 psi

E = joint efisiensi = 0,8

C = *corrosion allowancce* = 0,125 in

OD = ID + 2ts

$$= 98,75 \text{ in} + 2 \times 0,3125 \text{ in}$$

$$= 99,37 \text{ in}$$

Dari table 5.7 Brownell didapat:

OD = 102 in

Icr = 6,13 in

rc = 96

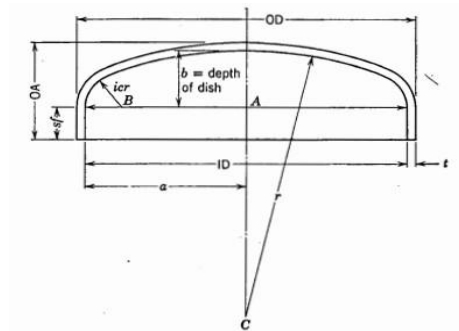
$$W = \frac{1}{4} (3 + \sqrt{\frac{r}{icr}})$$

$$W = 1,74$$

Dari data-data diatas diperoleh tebal *head*(th) = 0,2232 in

Dari tabel Brownell hal 350 tentang tebal *head*, dipilih:

$$\text{th standar} = \frac{1}{4} \text{ in}$$



Dengan th sebesar $\frac{1}{4}$ in maka nilai sf adalah 1,5 – 2,5, sehingga dipilih

nilai sf sebesar 2 in

$$\begin{aligned} ID &= OD - 2ts \\ &= 95,63 \text{ in} \end{aligned}$$

$$a = \frac{ID}{2} = 47,81 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = 41,69 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 89,88 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} = 79,62 \text{ in}$$

$$b = r - AC = 16,38 \text{ in}$$

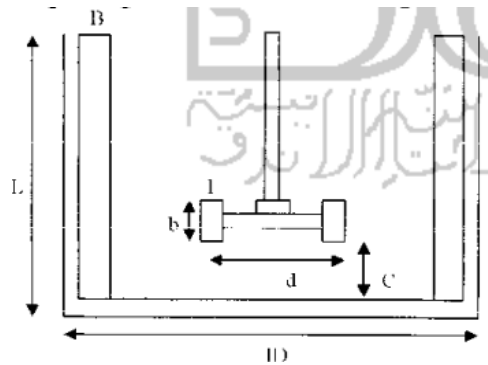
$$OA = \text{thead} + b + sf = 18,63 \text{ in}$$

$$H_{\text{reaktor}} = H_{\text{shell}} + 2.OA$$

$$= 180,69 \text{ in}$$

$$= 4,59 \text{ m}$$

d. Dimensi Pengaduk



Dimana :

ID = diameter dalam reaktor

d = diameter pengaduk

l = panjang sudu pengaduk

C = jarak pengaduk dengan dasar tangki

b = lebar sudu pengaduk

B = lebar baffle

L = tinggi cairan

Sehingga,

$$\text{Diameter pengadik (d)} = ID/3 = 32,92 \text{ in}$$

$$\text{Lebar sudu pengaduk(b)} = d/5 = 6,58 \text{ in}$$

$$\text{Panjang sudu pengaduk (l)} = d/4 = 8,23 \text{ in}$$

$$\text{Lebar baffle (B)} = ID/12 = 7,97 \text{ in}$$

$$\text{Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)} = 0,75 d = 24,69 \text{ in}$$

Menentukan kecepatan pengadukan

$$S_g = \rho_{\text{cairan}} / \rho_{\text{air}} = 0,795$$

$$WELH = H_{\text{cairan}} \times S_g = 8,04 \text{ ft}$$

Digunakan persamaan :

$$\frac{WELH}{2 \cdot D_i} = \left(\pi \cdot D_i \cdot \frac{N}{600} \right)^2$$

Dimana :

$$WELH = \text{Water Equivalen Liquid High}$$

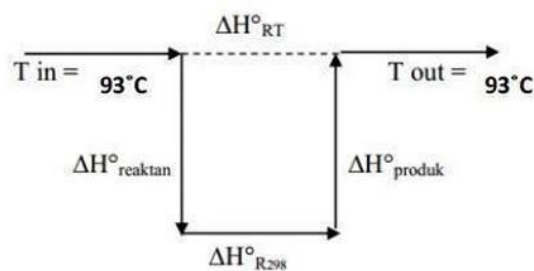
$$D_i = \text{Diameter}$$

$$N = \text{Kecepatan Putaran pengaduk (rpm)}$$

Dipakai 1 buah pengaduk, maka didapat kecepatan putar pengaduk sebesar:

$$N = 84,33 \text{ rpm} = 1,41 \text{ rps}$$

E. Neraca Panas Reaktor



Keterangan	Q input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q in	781.207,51	
Q out		788.544,5404
ΔH reaksi	-18,13	
Q Pendingin		-7.355,16
Total	781189,38	781189,38

F. Dimensi Jacket pendingin

a. Menghitung ΔT_{LMTD}

Initial	Fluida Panas (°F)		Fluida dingin (°F)	ΔT (°F)
ΔT_1	199	Higher Temperature	122	77,4
ΔT_2	199	Lower Temperature	77	122,4

$$\Delta T_{LMTD} = 98^\circ \text{F}$$

$$Q_{\text{pendingin}} = 7.355,16 \text{ kJ/jam}$$

b. Menghitung kebutuhan air pendingin

$$\Delta H = 20972 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{\text{pendingin}} = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$= 350,7 \text{ kg/jam}$$

c. Menghitung Luas Transfer Panas

Untuk fluida panas *medium organics* (viskositasnya 0,5-1 cP) dan fluida dingin air, nilai UD = 50-125 Btu/ft².°F.jam (Kern table 8 pg 840).

Diambil UD = 75 Btu/ft².°F.jam

$$A = 0,94 \text{ ft}^2$$

d. Menghitung Luas selubung

$$A = \text{Luas selimut} + \text{luas penampung bawah reaktor}$$

$$= (\pi \cdot D \cdot H) + (\pi/4 \cdot D^2)$$

$$= 372,08 \text{ ft}^2$$

Karena luas transfer panas kurang dari luas selubung reaktor maka menggunakan jaket pendingin.

e. Menghitung *Jacket* pendingin

Diameter jaket :

$$\begin{aligned} ID_{\text{jaket}} &= OD_{\text{shell}} + (2 \times \text{jarak jaket}) \\ &= 106 \text{ in} = 2,69 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_{\text{jaket}} = 148 \text{ in} = 3,76 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} t_j &= \frac{P}{(fE - 0,6P)} + C \\ &= 0,1261 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipakai tebal jaket standar = 3/16 in (brownell&young, 1959)

$$\begin{aligned} OD_{\text{jaket}} &= ID_{\text{jaket}} + (2 \times t_j) \\ &= 106,375 \text{ in} \end{aligned}$$

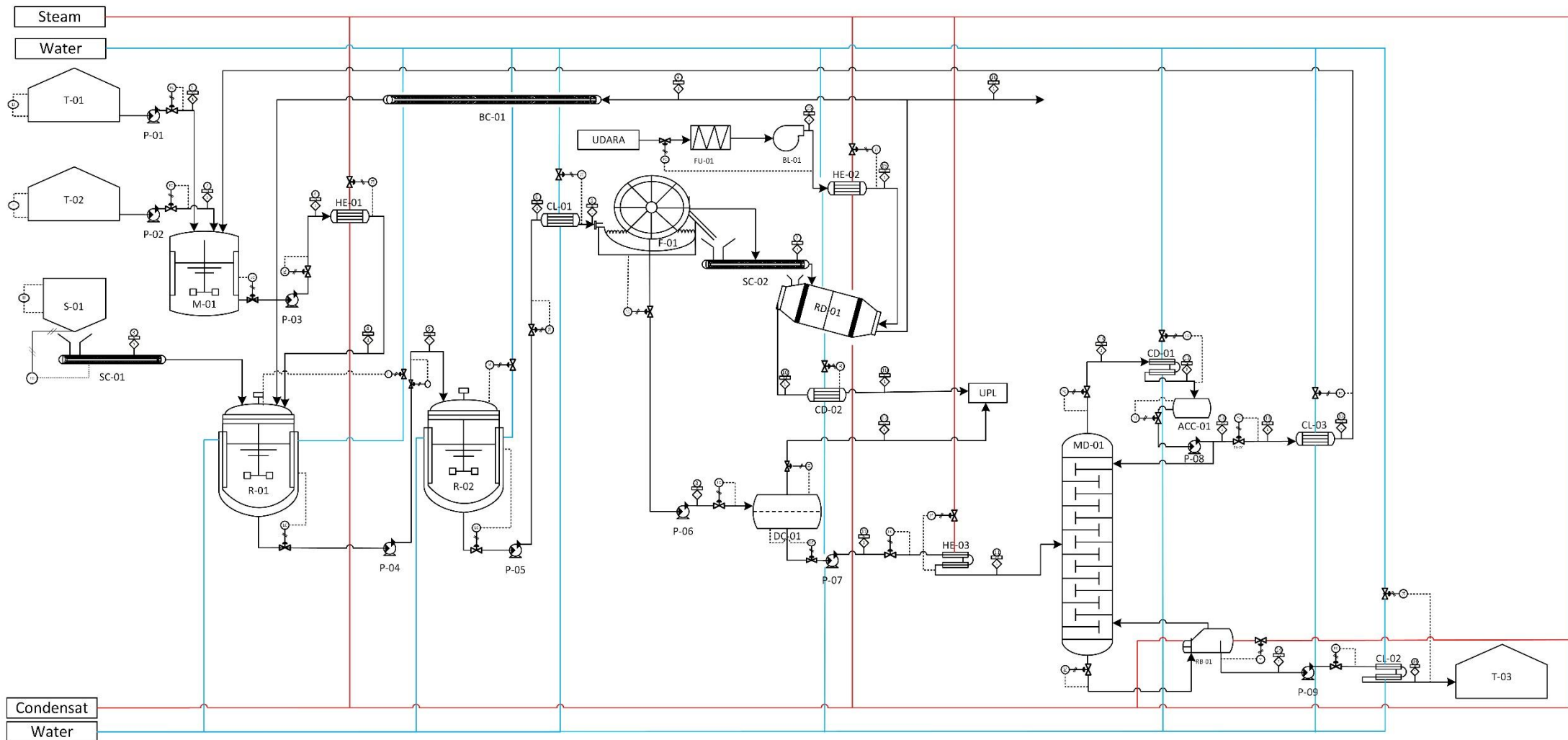
$$\begin{aligned} th_{\text{jaket}} &= \frac{P \cdot r \cdot C \cdot W}{2fE - 0,2P} + C \\ &= 0,1263 \end{aligned}$$

Standarisasi th = 3/16 in

LAMPIRAN B

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA RANCANGAN PABRIK BUTIL ASETAT DARI ASAM ASETAT DAN BUTANOL
DENGAN KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN



ALAT	KETERANGAN
T	Tangki Penyimpanan
S	Silo
M	Mixer
R	Reaktor
F	Filter
RD	Rotary Dryer
DC	Decanter
EV	Expansion Valve
MD	Menara Distilasi
HE	Heater
CL	Cooler
CD	Condensor
RB	Reboller
ACC	Accumulator
P	Pompa
BL	Blower
SC	Screw Conveyor
BC	Belt Conveyor
FU	Filter Udara

SIMBOL	KETERANGAN
(I)	Level Indicator
(F)	Flow Controller
(L)	Level Controller
(T)	Temperature Controller
(P)	Pressure Controller
(N)	Nomor Arus
(S)	Suhu
(V)	Tekanan
(C)	Control Valve
(P)	Pipa
(U)	Udara Tekan
(L)	Listrik



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA RANCANGAN BUTIL ASETAT DARI ASAM ASETAT
DAN BUTANOL KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN

Disusun oleh :

1. Abid Bagas Senjaya (22521049)
2. Muhammad Azra Pranasatra (22521013)

Dosen Pembimbing :

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

Komponen	Arus (kg/jam)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C ₂ H ₄ O ₂	690,47			690,47	182,69	12,79	0,96	11,83	0,02	0,94		11,83			
C ₄ H ₉ OH		1089,72		4258,22	3634,59	3424,88	207,58	3217,3	3,31	204,27	3173,94	43,36	3167,61	6,33	
C ₆ H ₁₂ O ₂				15,94	998,72	1327,37	51,34	1276,04	0,52	50,81	1274,76	1,28	15,93	1256,83	
H ₂ O	1,38	5,48		9,2	164,85	215,81	53,83	161,98	3,54	50,29	2,35	159,63	2,35		
C ₁₈ H ₁₈ O ₃ S			36,6		731,98	731,98	731,98		731,98						
Udara										19.789,8					19789,83
Total	691,85	1095,20	36,6	4973,83	5712,83	5712,83	1045,69	4667,15	739,37	20096,10	4451,05	216,10	3185,89	1263,16	19789,8

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Muhammad Azra Pranasstra
 No. Mahasiswa 1 : 22521013
 Nama Mahasiswa 2 : Abid Bagus Senjaya
 No. Mahasiswa 2 : 22521049
 Judul Pra rancangan Pabrik : Pra Rancangan Pabrik Butil Asetat dari Asam Asetat dan Butanol dengan kapasitas 10.000 ton/tahun
 Mulai Masa Bimbingan : Oktober 2025
 Selesai Masa Bimbingan : Juni 2026

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	02-10-2025	Panduan penulisan naskah TA	
2.	08-10-2025	Diskusi terkait judul TA	
3.	21-10-2025	Kapasitas pabrik dan kinetika reaksi	
4.	05-11-2025	Kapasitas pabrik dan kinetika reaksi	
5.	11-11-2025	Kapasitas pabrik	
6.	05-01-2026	Diskusi pergantian Judul TA	
7.	23-02-2026	Fiksasi Kapasitas pabrik	
8.	25-02-2026	Fiksasi Kinetika reaksi dan termodinamika	
9.	08-04-2026	Diagram alir dan neraca massa	
10.	14-04-2026	Rotary Dryer	
11.	16-04-2026	Decanter	
12.	05-05-2026	Menara distilasi	
13.	07-05-2026	PEFD	
14.	12-05-2026	Rotary Dryer, Lokasi dan Tata letak pabrik	
15.	09-06-2026	Konfirmasi luaran Tugas Akhir	

Disetujui Draft Penulisan :
 Yogyakarta, 21 Juni 2026.....
 Pembimbing,


 (.....)

Catatan:

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan Pra Rancangan Pabrik
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy