

**PRA RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA
DENGAN KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN**

PERANCANGAN PABRIK

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



Oleh:

Nama : Adyna Salsabilla

Nama : Mella Yonata

NIM : 21521092

NIM : 21521111

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

2025

LEMBAR KEASLIAN

PRA-RANCANGAN PABRIK

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL PRA RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA DENGAN KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama = Adyna Salsabilla
NIM = 21521092

Nama = Mella Yonata
NIM = 21521111

Yogyakarta, 29 Mei 2025

Menyatakan bahwa seluruh hasil Prarancangan Pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Td. Tangan

Adyna Salsabilla

Td. Tangan

Mella Yonata

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA DENGAN KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK			
ISLAM			
Nama	: Adyna Salsabilla	Nama	: Mella Yonata
NIM	: 20521092	NIM	: 20521111
UNIVERSITAS			
YOGYAKARTA			
INDONESIA			
Yogyakarta, 29 Mei 2025			
Pembimbing			
			
Dr. Nur Indah Fajar Mukti, S.T. M.Eng.			
NIK. 165210101			
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ			

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI PRA RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA DENGAN KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Adyna Salsabilla

Nama : Mella Yonata

NIM : 21521092

NIM : 21521111

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, 18 Juni 2025

Tim Penguji

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


17-07-2025

Ketua

Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.


16/7/25

anggota I

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



anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia




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

NIK. 995200445

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur Alhamdulillah atas rahmat, hidayah dan inayah-nya dari Allah SWT, akhirnya kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PRA RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA DENGAN KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN”** ini disusun sebagai penerapan dari Ilmu Teknik Kimia yang telah didapat dibangku kuliah, dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pada kesempatan ini tidak lupa kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada berbagai pihak yang telah membantu terwujudnya Laporan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih penulis dipersembahkan kepada:

1. Allah SWT karena atas segala kehendak-Nya, penulis diberi kesabaran dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan dorongan dan motivasi baik berupamateri maupun mental, serta tak lupa atas doanya yang tidak henti-hentinya diberikan kepada kami untuk dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph. D selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas

Islam Indonesia

5. Ibu Dr. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph. D selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.
6. Ibu Dr. Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mendukung dengan sabar, memberikan semangat dan masukan kepada kami dalam penyusunan dan penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan teknik kimia angkatan 2021 yang banyak membantu dalam lancarnya tugas akhir kami ini, yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu. Semangat teman-teman! Perjuangan kita masih panjang.

Kami menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik ini masih banyak kekurangan dan kelemahan serta jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik ini dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya mahasiswa Teknik Kimia.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 29 Mei 2024

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam, atas segala limpahan rahmat, karunia, dan kemudahan yang telah diberikan kepada penulis dalam menjalani setiap proses hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berupa rancangan pabrik ini. Tugas akhir ini menjadi penutup dari perjalanan panjang penulis selama menempuh pendidikan di bangku kuliah, sekaligus menjadi langkah awal dalam menapaki kehidupan di dunia profesional.

Penulis menyadari bahwa perjalanan akademik ini, dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir, tidak akan berjalan lancar tanpa bimbingan, dorongan, dan doa dari berbagai pihak yang begitu berjasa. Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, pada halaman istimewa ini penulis mempersembahkan karya ini kepada:

1. Ayah Dicky Zulkarnaen dan Bunda Nana Maskouri yang kasih sayang dan ketulusan doanya tak pernah surut, menjadi sumber kekuatan terbesar bagi penulis untuk menjalani tahapan perkuliahan hingga akhir dengan penuh semangat. Terima kasih ayah, yang lebih memilih lelah daripada menyerah untuk menguliahkan putri sulungnya. Terima kasih bunda, yang menjadi rumah paling nyaman ketika dunia sedang tidak baik-baik saja. Tak ada kata yang benar-benar mampu mewakili rasa terima kasih ini. Penulis hanya bisa memohon kepada Allah SWT agar senantiasa melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, dan perlindungan kepada ayah dan bunda, sebagaimana ayah dan bunda tak pernah berhenti menjadi pelindung dan penopang hidup penulis sejak hari pertama kehidupan dimulai.
2. Mbah Tin Sahari yang selalu menyayangi penulis dan tak pernah absen bertukar kabar selama penulis mengenyam bangku perkuliahan. Di usia yang sudah senja, ada cinta yang besar yang tidak pernah meminta apapun selain ingin cucunya baik-baik saja di pulau seberang. Terima kasih mbah, semoga mbah panjang umur dan dapat melihat tete berhasil di masa depan.
3. Adik-adik tercinta, Adyna Sadira Fadhilah dan Adyna Afiqah Najiha. Terima kasih telah menjadi cahaya kecil yang menenangkan di tengah rutinitas dan

tantangan yang penulis hadapi selama kuliah. Semoga kelak Sadira dan Aiqa tumbuh menjadi pribadi yang tangguh, cerdas, dan berhati lembut serta dapat meraih impian dengan penuh keyakinan.

4. Ibu Dr. Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis dari Penelitian hingga Tugas Akhir. Penulis bersyukur mendapat pembimbing yang sangat mengayomi dan selalu terbuka atas pertanyaan yang kami punya. Banyak kesalahan dan kekeliruan penulis selama menjadi mahasiswa bimbingan Ibu, namun Ibu berbaik hati, selalu sabar, dan terus merangkul penulis hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih Ibu, semoga Ibu selalu mendapat rahmat dari Allah SWT dan adik kecil di dalam kandungan Ibu yang senantiasa kebersamaan saat penulis berkonsultasi, tumbuh menjadi anak yang soleh dan pintar serta dapat membanggakan orang tua kedepannya.
5. Mella Yonata, yang sudah menjadi *partner project* penulis mulai dari Kerja Praktik, Penelitian, hingga Tugas Akhir. Banyak hal yang telah terlewati dan banyak masalah yang dihadapi bersama, tapi Mella membuat semuanya terasa lebih mudah untuk dijalani. Terima kasih atas bantuan, semangat dan kerja keras yang sudah kita usahakan selama ini. Dulu kita selalu takut untuk menghadapi Tugas Akhir yang bahkan belum kita ambil. Namun, tak terasa kini kita telah sampai di garis *finish*. Alhamdulillah, semuanya berhasil!
6. Saffanah Azka. M, Vania Aninditha. C, Rifqi Permanto. P, dan Lukman Aprianto yang senantiasa menemani penulis dalam menghadapi rangkaian perkuliahan dari semester 3 hingga semester 7. Terima kasih telah memberi warna dalam cerita penulis sehingga perjalanan perkuliahan ini tidak terasa sepi dan berat dijalani sendiri. Terimakasih telah sedikit banyaknya berkontribusi dalam penyusunan Tugas Akhir ini dan menjadi tempat bertanya serta berdiskusi bagi penulis. Senang rasanya dipertemukan dengan kalian di bumi yang seluas ini. Semoga kekraban kita bisa terus terjaga, bahkan setelah masa perkuliahan ini berakhir.
7. Barudakknwell: Isna, Aulia, Miftah, Satrio, Putra, Rudin, Marinus, Furqon, Wahyu, dan Encep. Terima kasih kepada kalian yang tak hanya jadi teman

duduk di kelas, tapi turut menjadi rekan diskusi, satu tim tugas kelompok ataupun praktikum, teman satu meja makan, bahkan teman berbagi keresahan di tengah *deadline*.

8. Nashwa Tharissa Lyra, yang telah setia menemani serta tumbuh dewasa bersama penulis dalam berbagai musim kehidupan. Terima kasih untuk tidak pernah menjauh, meski tak selalu dalam satu ruang yang sama. Semoga Allah senantiasa memberikan kemudahan bagi kita untuk mencapai apa yang dicita-citakan.
9. Eglo: Viona Dillarendza, Aulia Rahman, Ghaida Humaira.H, Ghifar Al-Aslam, Ismi Hamidah. R, dan Adjie Adhitya. R. Terima kasih atas kebersamaan mulai dari masa putih-abu yang penuh canda tawa hingga kini menghadapi tantangan di era dewasa. Penulis bersyukur dapat berjalan beriringan dalam proses yang penuh lelah ini. *With seven against the world!*
10. Orang-orang yang bersinggungan dengan garis hidup penulis dalam menjalani kehidupan di Yogyakarta. Terima kasih telah membantu penulis dan memberikan pelajaran dan pengalaman yang berarti bagi penulis sebagai bekal untuk menjalani kehidupan kedepannya.
11. Terakhir, terima kasih untuk diriku sendiri. Terima kasih telah berani mencoba, meski seringkali dihantui rasa ragu dan lelah. Mungkin sejauh ini pernah salah langkah, keliru mengambil keputusan, atau gagal memahami sudut pandang orang lain. Tapi, hidup bukan tentang sempurna, melainkan belajar, tumbuh, dan saling memaafkan. Jadilah rendah hati dan jangan berhenti memperbaiki diri. Apapun yang akan dihadapi kedepannya, percayalah Allah tak akan membiarkanmu sendiri.

Adyna Salsabilla

Teknik Kimia UII 2021

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin

Sembah sujud serta Syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW. Kupersembahkan Tugas Akhir ini dengan sepenuh hati dan jiwa, sebagai bunga dari perjalanan panjang yang penuh luka, tawa, jatuh, bangkit, dan doa. Setiap nama yang tertulis di sini bukan sekadar huruf-huruf, melainkan denyut nadi dari kisahku yang tak akan pernah selesai kutulis. Tiada lembar yang paling indah dalam laporan ini kecuali lembar persembahan yang saya persembahkan untuk :

1. Ibu Sopiana dan Bapak Heri Supriono, Mama dan Ayah tercinta. Ini adalah persembahan saya, sebagai ungkapan penghargaan yang tulus atas segala bimbingan dan kasih sayang yang telah kalian berikan. Kalian adalah nadi dari setiap doa yang terucap dalam diam. Dalam peluh yang mengering di dahi kalian, kutemukan arti sejati dari pengorbanan. Tak ada pelita yang seterang tatapan kalian saat menyemangati langkah-langkah kecilku di masa kanak, hingga kini, saat langkahku mulai menggurat jejak sendiri di bumi perjuangan ini. Terima kasih bukan kata yang cukup, namun biarkan ia menjadi jembatan rasa syukurku atas setiap doa yang kalian hembuskan dalam sepi. Kalian adalah dua kutub yang membuat poros hidupku tetap seimbang. Kalian adalah alasan aku ingin terus berjalan, agar suatu hari bisa berkata dengan bangga: semua ini, adalah karena cinta yang tak pernah lelah kalian berikan. Terima kasih telah menjadi pondasi, pelindung, dan cahaya dalam hidupku. Bila aku adalah bait-bait puisi, maka kalian adalah maknanya.
2. Kakakku, sebagai tanda terima kasih, aku persembahkan Laporan Tugas Akhir ini untuk Sekar Meilinda Sari, Wurri Priandry, dan Henna Notrian

Puteri. Kalian adalah hangat yang tak pernah usang. Dalam tawa kalian, aku temukan tempat pulang tanpa syarat. Dalam teguran kalian, tersimpan cinta yang tak pernah menuntut balas. Hidupku tak akan seimbang tanpa kehadiran kalian yang selalu menjelma menjadi pelindung, sahabat, sekaligus panutan. Kalian mengajarkanku bahwa menjadi perempuan tak selalu harus kuat, tapi harus tulus dan itu cukup untuk menggetarkan dunia. Terima kasih telah menjadi pelindung dan cahaya, bahkan ketika aku tidak tahu bahwa aku sedang berada dalam gelap. Terima kasih telah menjadi rumah dalam bentuk manusia.

3. Kepada mata-mata kecil yang penuh binar harapan, keponakan-keponakan khola tercinta, kalian adalah alasan untuk terus percaya bahwa dunia ini masih layak dijalani. Kalian adalah tawa yang menghapus penat, harapan yang tumbuh dalam bentuk pelukan-pelukan polos. Dalam tawa polos kalian, khola temukan kebahagiaan yang tak pernah bisa dibeli. Semoga dunia memperlakukan kalian dengan lembut, namun cukup tegas agar kalian belajar berdiri di atas kaki sendiri. Semoga kalian tumbuh menjadi jiwa-jiwa bijak yang tahu caranya mencintai, tanpa harus kehilangan diri. Semoga langkah kalian kelak lebih ringan, jalan kalian lebih lapang, dan hati kalian senantiasa dijaga oleh cinta yang tulus. Jadilah cahaya, meski kecil, tapi cukup untuk menerangi sekitarmu.
4. Ibu Dr. Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya. Ibu adalah seseorang yang bukan hanya membimbing, tetapi juga membentuk. Di balik tutur lembut dan kebijaksanaan Ibu, saya menemukan cahaya ilmu yang tidak hanya membuka wawasan, tapi juga hati. Ibu bukan hanya memberi arahan, tapi juga keyakinan. Dalam bimbingan Ibu, saya belajar bahwa ilmu bukan hanya soal teori, melainkan tentang bagaimana menghidupkannya dalam etika, kesabaran, dan ketulusan. Terima kasih Ibu, atas setiap waktu, pikiran, dan kesediaan yang Ibu curahkan demi masa depan kami. Nama Ibu akan saya kenang sebagai bagian dari kisah indah ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan

berkah kepada Ibu dan keluarga, serta memberikan kesehatan, kebahagiaan, dan kesuksesan yang berlimpah.

5. Adyna Salsabilla, rekan seperjalanan dari Kerja Praktik, Penelitian, dan Tugas Akhir yang menjelma seperti cermin. Kita pernah lelah bersama, nyaris menyerah, tapi juga saling menyalakan kembali semangat yang hampir padam. Kita tahu bagaimana rasanya merevisi berulang kali Tugas Akhir ini, bagaimana menanti hasil bimbingan dengan jantung tak karuan, dan bagaimana akhirnya kita bisa berkata: kita berhasil. Bersamamu, aku belajar bahwa kerja keras tidak selalu harus sendiri. Kamu adalah sandaran dalam senyap, penawar dalam letih, dan rekan yang tak tergantikan dalam labirin akademik yang melelahkan ini. Terima kasih telah bersamaku melewati malam-malam begadang, diskusi panjang tanpa ujung, dan tawa-tawa kecil yang menguatkan. Terima kasih karena telah memilih untuk tetap berjalan bersamaku hingga akhir. Kamu bukan hanya partner kerja, tapi teman hati dalam perjuangan yang sunyi ini.
6. PPM (Saffanah Azka Mufida, Vania Anandhita Chairunnisa, Rifqi Permanto Pribadi, dan Lukman Aprianto) kalian adalah saksi jatuh bangunku. Kita pernah duduk bersama, saling mengeluh dan menertawai beban yang sama, dan justru karena itulah, kita lebih dari sekadar teman. Kalian adalah teman yang membuat beban terasa lebih ringan, dan perjuangan jadi lebih bermakna. Kita berjalan di jalan yang sama, meski terkadang dengan langkah yang berbeda. Tapi yang terpenting, kita tak pernah benar-benar berjalan sendiri. Kalian adalah bagian dari cerita ini yang tak bisa aku ganti. Dalam peluh dan pelajaran, kalian menjadi saksi bisu dari versi diriku yang mencoba, jatuh, lalu mencoba lagi. Terima kasih karena hadir bukan hanya untuk tertawa, tapi juga untuk bertahan bersamaku. Terima kasih telah menjadi bahu, pelipur lara, dan juga suara tawa saat dunia terlalu sunyi.
7. Barudakwell (Aulia Okta Berinda, Eko Putra, Isnaeni Wardatur Rohmah, Miftah Farich, Marinus Israldo, Muhammad Hisbullah Furqon, Rudin Priyanto, Satrio Danu, dan Wahyu Eko) kalian adalah teman seperjuangan

yang telah bersamaku sejak langkah awal di semester satu, kalian yang rela duduk bersama hingga dini hari, menyusun tugas demi tugas yang seperti tak pernah ada habisnya. Kalian yang menyalakan semangat saat tubuh ingin rebah, yang menggelar buku di sudut-sudut fakultas orang, entah itu di FMIPA atau FPSB, demi satu tujuan yang kita sebut: lulus bersama. Kita mungkin belajar di tempat orang, tapi justru di sanalah kita merasa paling ‘pulang’. Terima kasih untuk kebersamaan yang tak pernah ringan, tapi juga tak pernah terasa sepi. Kalian adalah keluarga yang kuperoleh dari ruang-ruang kelas, dan perjuangan kita adalah kisah yang akan terus kupeluk, bahkan setelah semuanya usai.

8. Selvi Anjas Sari, Terima kasih karena selalu hadir dalam senyap yang tak banyak dimengerti orang. Kamu bukan hanya telinga yang setia mendengar keluh kesah, tapi juga hati yang tak lelah menguatkan, bahkan saat aku sendiri mulai ragu pada langkahku. Dalam doa-doamu yang sederhana, aku menemukan pengingat untuk kembali berserah kepada-Nya, ketika dunia terasa terlalu berat dipikul sendiri. Kehadiranmu adalah anugerah yang tak selalu tampak mencolok, tapi justru itulah yang menjadikannya istimewa. Kamu mengajarkanku bahwa kekuatan bukan hanya tentang mampu berdiri sendiri, tapi juga tentang berani bersandar saat lelah. Terima kasih karena terus mengingatkanku untuk tidak hanya percaya pada proses, tapi juga pada Tuhan yang menuntun setiap langkahnya.
9. Seve Wulandari, kamu mungkin tak selalu hadir dalam kata, tapi kehadiranmu terasa dalam getar yang tak kasat mata. Kamu adalah tenang di antara riuh, kehadiran yang sunyi namun penuh makna. Terima kasih telah menjadi bagian dari kisah ini, entah dengan cara yang tampak, atau hanya sekadar terasa. Semoga apa pun yang kamu perjuangkan dalam hidup, selalu menemukan jalannya menuju baik.
10. Untuk kamu, yang entah di mana kini, semoga langkah kita perlahan-lahan saling mendekat, tanpa perlu tergesa. Aku tidak mencari yang sempurna, tapi seseorang yang mau belajar tumbuh bersamaku dalam badai dan teduh, dalam lelah dan pelukan. Semoga kamu datang bukan sebagai pelengkap, tapi

sebagai rekan perjalanan yang saling menguatkan saat lelah, saling mengingatkan saat lupa, dan saling mendewasakan dalam iman, harap, dan cinta. Terima kasih untuk segala bayang harapan yang secara diam-diam telah menjadi bahan bakar semangatku. Untuk dorongan tak terlihat yang membuatku bertahan, untuk motivasi yang tak selalu terasa namun begitu nyata menuntunku agar terus maju. Meski kamu belum hadir di hadapanku, jejakmu telah mengiringi langkahku dengan lembut. Jika hari ini kita masih berjarak, biarlah semesta yang menuntun. Aku akan tetap belajar menjadi pribadi yang layak kamu temui. Sampai nanti, saat takdir mempertemukan kita, aku titipkan hatiku pada waktu dan doa.

11. Dan terakhir, untuk diriku sendiri...Terima kasih telah bertahan sejauh ini. Terima kasih karena tidak menyerah, meski dunia sering kali terasa asing dan berat. Di tanah rantau, kau belajar berdiri sendiri, belajar menghadapi hari-hari tanpa pelukan rumah dan suara orang-orang tersayang. Kau telah melewati malam-malam panjang yang sunyi, menyulam harapan dari potongan kegagalan, dan tetap melangkah meski tanpa peta yang pasti. Kau menangis dalam diam, tersenyum dalam sepi, dan tetap memilih untuk bangkit, meski tak selalu ada tangan yang mengangkatmu. Aku bangga padamu, bukan karena kau sempurna, tapi karena kau terus berjalan meski jalannya tak selalu ramah. Teruslah melangkah, teruslah percaya, bahwa setiap perjuangan ini akan menemukan tujuannya. Dan ketika kelak kau melihat ke belakang, semoga kau bisa tersenyum dan berkata, “Aku berhasil karena aku tidak berhenti.”

Mella Yonata

Teknik Kimia UII 2021

DAFTAR ISI

LEMBAR KEASLIAN	i
PRA-RANCANGAN PABRIK.....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	viii
LEMBAR PERSEMBAHAN	viii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMBANG	xxi
ABSTRAK	xxiii
<i>ABSTRACT</i>	xxiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik.....	3
1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.2.2 Proyeksi Kebutuhan Polistirena	3
1.3 Tinjauan Pustaka	6
1.4 Tinjauan Termodinamika.....	13
1.4.1 Tinjauan Termodinamika	13
1.4.2 Tinjauan Kinetika	14
BAB II PERANCANGAN PABRIK.....	18
2.1 Spesifikasi Produk.....	18
2.1.1 Polistirena.....	18
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung	20
2.2.1 Bahan Baku	21

2.2.2	Bahan Pendukung	25
2.3	Pengendalian Kualitas	33
BAB III PERANCANGAN PROSES		37
3.1	Diagram Alir Proses dan Material.....	37
3.1.1	Diagram Alir Kualitatif	37
3.1.2	Diagram Alir Kuantitatif	38
3.2	Uraian Proses.....	39
3.2.1	Tahap Preparasi	39
3.2.2	Reaksi Polimerisasi	39
3.2.3	Tahap Pemisahan dan Pengeringan Produk	40
3.3	Spesifikasi Alat	41
3.3.1	Spesifikasi Alat Proses	41
3.3.2	Spesifikasi Alat Pemisah	44
3.3.3	Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan.....	45
3.3.4	Spesifikasi Alat Transportasi Bahan.....	49
3.3.5	Spesifikasi Alat Penukar Panas	53
3.4	Neraca Massa.....	59
3.4.1	Neraca Massa Total	59
3.4.2	Neraca Massa Alat.....	60
3.5	Neraca Panas	62
3.5.1	Neraca Panas Total	62
3.5.2	Neraca Panas Komponen	62
BAB IV PERANCANGAN PABRIK		65
4.1	Lokasi Pabrik	65
4.1.1	Pemasaran	66
4.1.2	Ketersediaan Bahan Baku	66
4.1.3	Kondisi Iklim	67
4.1.4	Utilitas	67
4.1.5	Sumber Listrik.....	68
4.1.6	Transportasi.....	68
4.2	Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>)	69

4.3	Tata Letak Mesin atau Alat Proses	71
4.3.1	Aliran Bahan Baku dan Produk.....	72
4.3.2	Aliran Udara.....	72
4.3.3	Pencahayaan.....	72
4.3.4	Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan.....	72
4.3.5	<i>Maintenance</i>	73
4.3.6	Jarak Antara Alat Proses.....	73
4.4	Organisasi Perusahaan	74
4.4.1	Bentuk Organisasi	74
4.4.2	Struktur Organisasi.....	75
4.4.3	Tugas dan Wewenang.....	80
4.4.4	Pengaturan Jam Kerja	84
4.4.5	Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji	89
4.5.6	Fasilitas dan Hak Karyaawan.....	93
BAB V UTILITAS		95
5.1.	Unit Penyedia dan Pengolahan Air.....	97
5.1.1	Unit Penyedia Air	97
5.1.2.	Unit Pengolahan Air	105
5.1.3	Total Kebutuhan Air	114
5.2.	Unit Pembangkit <i>Steam</i>	115
5.3.	Unit Pembangkit Listrik.....	116
5.3.1.	Kebutuhan Listrik Alat Proses	117
5.3.2.	Kebutuhan Listrik Utilitas.....	118
5.3.3.	Kebutuhan Listrik Alat Kontrol	119
5.3.4.	Kebutuhan Listrik Penerangan.....	119
5.3.5.	Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor.....	119
5.3.6.	Kebutuhan Listrik Bengkel, Laboratorium, Tempat Ibadah, dll ..	119
5.3.7.	Kebutuhan Listrik Perumahan	119
5.3.8.	Generator Cadangan.....	120
5.4	Unit Penyedia Udara Tekan	121
5.5.	Unit Pengolahan Limbah.....	122

5.6.	Spesifikasi Alat Utilitas	123
5.6.1.	Pompa Utilitas (PU)	123
5.6.2	Bak Utilitas	129
5.6.3	Tangki Utilitas (TU)	129
5.6.4	<i>Screener</i>	130
5.6.5	Tangki Pencampuran	131
5.6.6	Klarifier	131
5.6.7	<i>Sand Filter</i>	132
5.6.8	<i>Carbon Filter</i>	132
5.6.9	SWRO (<i>Sea Water Reverse Osmosis</i>)	132
5.6.10	BWRO (<i>Brackish Water Reverse Osmosis</i>)	133
5.6.11	<i>Cooling Tower</i>	133
5.6.12	<i>Kation Exchanger</i>	133
5.6.13	<i>Anion Exchanger</i>	134
5.6.14	Deaerator	134
5.6.15	Boiler	135
BAB VI	EVALUASI EKONOMI	136
6.1	Penaksiran Harga Alat	137
6.2	Dasar Perhitungan	145
6.3	Komponen Biaya	145
6.3.1	Modal (<i>Capital Investment</i>)	145
6.3.2	Biaya Produksi (<i>Manufacturing Cost</i>)	147
6.3.3	Pengeluaran Umum (<i>General Expenses</i>)	149
6.4	Analisa Keuntungan	150
6.4.1	Keuntungan Sebelum Pajak	150
6.4.2	Keuntungan Sesudah Pajak	150
6.5	Analisa Kelayakan	151
6.5.1	<i>Return on Investment (ROI)</i>	151
6.5.2	<i>Pay Out Time (POT)</i>	151
6.5.3	<i>Break Even Point (BEP)</i>	152
6.5.4	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	154

6.5.5	<i>Discounted Cash Flow Rate (DCFR)</i>	154
6.6	Analisis Resiko Pabrik	155
BAB VII_KESIMPULAN DAN SARAN		159
7.1	Kesimpulan	159
7.2	Saran	160
DAFTAR PUSTAKA		159
LAMPIRAN A_PERANCANGAN REAKTOR		163
LAMPIRAN B_ <i>PROCESS FLOW DIAGRAM</i>		179
LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN		181

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Ketersediaan Bahan Baku	3
Tabel 1. 2 Data Impor Polistirena	4
Tabel 1. 3 Data Industri polistirena di Indonesia	5
Tabel 1. 4 Data Produksi Polistirena di Dunia	5
Tabel 1. 5 Perbandingan Antar Jenis Proses	11
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat.....	49
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat (2)	50
Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair.....	51
Tabel 3. 4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair (2)	52
Tabel 3. 5 Neraca Massa Total	60
Tabel 3. 6 Neraca Massa Mixer.....	60
Tabel 3. 7 Neraca Massa Reaktor (R-01)	60
Tabel 3. 8 Neraca Massa Flash Drum (FD-01)	61
Tabel 3. 9 Neraca Massa Extruder (EX-01)	61
Tabel 3. 10 Neraca Panas Total	62
Tabel 3. 11 Neraca Panas Reaktor-01	62
Tabel 3. 12 Neraca Panas Flash Drum	62
Tabel 3. 13 Neraca Panas Extruder	63
Tabel 3. 14 Neraca Panas Heater-01	63
Tabel 3. 15 Neraca Panas Heater-02	63
Tabel 3. 16 Neraca Panas Cooler-01	63
Tabel 4. 1 Luas Tanah dan Bangunan Pabrik.....	70
Tabel 4. 2 Jadwal Jam Kerja Karyawan Non-Shift	85
Tabel 4. 3 Jadwal Jam Kerja Karyawan Shift	85
Tabel 4. 4 Jadwal Kerja Setiap Kelompok	87
Tabel 4. 5 Jadwal Kerja Setiap Kelompok (2)	88
Tabel 4. 6 Gaji Karyawan.....	90
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Domestik	99
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Domestik	99
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Pendingin.....	101
Tabel 5. 4 Jumlah Air dalam Alat Unit Pendingin	102
Tabel 5. 5 Kebutuhan Air Service	102
Tabel 5. 6 Kebutuhan Air Umpan Boiler	103
Tabel 5. 7 Kebutuhan Air Umpan Boiler	104
Tabel 5. 8 Kebutuhan Air Umpan Boiler	105
Tabel 5. 9 Total Kebutuhan Air	115
Tabel 5. 10 Kebutuhan Air Umpan Boiler	116
Tabel 5. 11 Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	117

Tabel 5. 12 Kebutuhan Listrik Utilitas	118
Tabel 5. 13 Total Kebutuhan Listrik Pabrik	120
Tabel 5. 14 Spesifikasi Pompa Utilitas	123
Tabel 5. 15 Spesifikasi Pompa Utilitas (2).....	124
Tabel 5. 16 Spesifikasi Pompa Utilitas (3).....	125
Tabel 5. 17 Spesifikasi Pompa Utilitas (4).....	126
Tabel 5. 18 Spesifikasi Pompa Utilitas (5).....	127
Tabel 5. 19 Spesifikasi Bak Utilitas	129
Tabel 5. 20 Spesifikasi Tangki Utilitas.....	129
Tabel 5. 21 Spesifikasi Tangki Utilitas (2).....	130
Tabel 5. 22 Spesifikasi Tangki Utilitas (3).....	130
Tabel 5. 23 Spesifikasi Tangki Pencampuran.....	131
Tabel 6. 1 Indeks harga alat pada tahun 1963 – 1987.....	138
Tabel 6. 2 Harga Alat Proses	141
Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas.....	142
Tabel 6. 4 <i>Physical plant cost</i> (PPC).....	146
Tabel 6. 5 <i>Direct plant cost</i> (DPC).....	146
Tabel 6. 6 <i>Fixed capital invesment</i> (FCI).....	146
Tabel 6. 7 <i>Working Capital Investment</i> (WCI).....	147
Tabel 6. 8 <i>Total Capital Invesment</i>	147
Tabel 6. 9 <i>Direct Manufacturing Cost</i> (DMC).....	148
Tabel 6. 10 <i>Indirect manufacturing cost</i> (IMC)	148
Tabel 6. 11 <i>Fixed manufacturing cost</i>	149
Tabel 6. 12 <i>Total Manufacturing cost</i>	149
Tabel 6. 13 <i>General Expenses</i>	150
Tabel 6. 14 <i>Total production cost</i>	150
Tabel 6. 15 <i>Annual Fixed Manufacturing Cost</i>	153
Tabel 6. 16 <i>Annual Variable Value</i>	153
Tabel 6. 17 <i>Annual Regulated Expenses</i>	153
Tabel 6. 18 <i>Annual Sales Value</i>	153
Tabel 6. 19 Analisis Resiko Pabrik	156
Tabel 6. 20 Klasifikasi Resiko	156

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Impor Polistirena di Indonesia	4
Gambar 2. 1 <i>Diamond Hazard</i> Polistirena.....	19
Gambar 2. 2 Rumus Molekul Polistirena.....	20
Gambar 2. 3 <i>Diamond Hazard</i> Monomer Stirena	23
Gambar 2. 4 Gambar molekul stirena	24
Gambar 2. 5 <i>Diamond Hazard</i> Etil Benzena	29
Gambar 2. 6 Gambar molekul etil benzena.....	30
Gambar 2. 7 <i>Diamond Hazard</i> Benzoil Peroksida.....	31
Gambar 2. 8 Gambar molekul benzoil peroksida.....	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif.....	37
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif	38
Gambar 4. 1 Lokasi Pabrik Polistirena.....	65
Gambar 4. 2 Layout Pabrik Polistirena	71
Gambar 4. 3 Layout Alat Proses	74
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan Pabrik Polistirena	79
Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas.....	96
Gambar 6. 1 Grafik Kenaikan Index Tiap Tahun.....	140
Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi	158

DAFTAR LAMBANG

T	: <i>Temperature</i> , °C
μ	: Viskositas, cP
ρ	: Densitas, kg/m ³
r	: Jari-jari, in
D	: Diameter, m
H	: Tinggi, m
V	: Volume, m ³
m	: Massa, kg
P	: Tekanan, psia
T	: Waktu, jam
K	: Konstanta kinetika reaksi, /menit
Fv	: Laju alir, m ³ /jam
Ms	: Massa <i>steam</i> , kg
A	: Luas bidang penumpang, m ²
x	: Konversi, %
TD	: Titik didih, °C
Dt	: Dimensi reaktor, m
ID	: <i>Inside</i> diameter, in
OD	: <i>Outside</i> diameter, in
ts	: Ketebalan dinding, in
th	: Ketebalan <i>head</i> , in
P	: <i>Power</i> motor, hP

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

ABSTRAK

Polistirena (IUPAC Poly (1-*phenylethene*-1,2-*diyl*)), adalah polimer dengan stirena monomer, suatu hidrokarbon cair yang diproduksi secara komersial dari minyak bumi. Pabrik polistirena ini rencara akan didirikan di daerah Serang, Banten. Pabrik ini didirikan dengan kapasitas 90.000 ton/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah stirena. Selain itu, terdapat juga etil benzene sebagai pelarut dan benzoil peroksida sebagai inisiator. Proses polimerisasi berlangsung pada suhu 130°C dan tekanan 1 atm dengan konversi sebesar 98%. Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pembangunan pabrik membutuhkan modal produksi sebesar Rp7.831.320.055.332,75, Persen *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 32,27% dan sesudah pajak 24,2%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 2,4 tahun dan sesudah pajak 3 tahun. Dari data analisis ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik polistirena dari stirena layak untuk didirikan.

Kata Kunci: Polistirena, polimerisasi, stirena, Serang, ekonomi

ABSTRACT

Polystyrene (IUPAC name: Poly(1-phenylethene-1,2-diyl)) is a synthetic polymer produced from the monomer styrene, a liquid hydrocarbon commercially derived from petroleum. This study outlines the plan to establish a polystyrene manufacturing plant in Serang, Banten. The proposed plant will have an annual production capacity of 90,000 tons. The primary raw material utilized in the production process is styrene. Additionally, ethylbenzene will serve as the solvent, while benzoyl peroxide will function as the initiator. The polymerization reaction is designed to occur at a temperature of 130°C and a pressure of 1 atm, achieving a monomer conversion rate of 98%. An economic evaluation of the project indicates that the total capital investment required for the plant construction amounts to IDR 7,831,320,055,332.75. The estimated Return on Investment (ROI) is 32,27% before tax and 24,2% after tax. The Pay Out Time (POT) is calculated at 2,4 years before tax and 3 years after tax. Based on these economic indicators, it can be concluded that the proposed polystyrene plant is financially and technically feasible.

Keywords: Polystyrene, Polymerization, Styrene, Serang, Economic Evaluation

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri kimia di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat lokal. Salah satu bahan yang banyak digunakan dalam industri adalah polimer. Polimer adalah bahan yang cukup populer saat ini sehingga menyebabkan tingkat penggunaan polimer menjadi sangat tinggi, yang mana sebagian besar peralatan dan perlengkapan disekitar kita mengandung polimer seperti plastik dan serat buatan. Salah satu jenis polimer adalah polistirena.

Polistirena (IUPAC Poly (1-*phenylethene*-1,2-*diyl*)), adalah polimer dengan stirena monomer, suatu hidrokarbon cair yang diproduksi secara komersial dari minyak bumi. Produk polistirena yang pertama kali diproduksi secara komersial adalah homopolimer stirena yang juga dikenal sebagai polistirena kristal. Polistirena kristal ini juga dikenal sebagai *General Purpose Polystyrene* (GPPS), yang mana polistirena kristal ini memiliki ketahanan panas yang lebih baik dibandingkan produk polimer termoplastik lainnya. Perkembangan lebih lanjut dari *polystyrene* ini adalah *Expendable Polystyrene* (EPS).

Aplikasi polistirena sangat luas, mulai dari kemasan makanan dan minuman (seperti cup mie instan, sendok plastik, dan styrofoam), komponen barang elektronik, mainan anak-anak, hingga bagian interior otomotif dan bahan bangunan. Melihat banyaknya sektor yang menggunakan polistirena sebagai bahan baku, kebutuhan terhadap material ini tentu sangat penting dalam mendukung aktivitas industri dalam negeri. Sayangnya, kapasitas produksi polistirena di Indonesia masih terbatas. Beberapa pabrik yang sudah berdiri, seperti PT. Styron Indonesia, hanya mampu memproduksi dalam skala terbatas. Akibatnya, Indonesia masih harus mengimpor polistirena dalam jumlah yang cukup besar setiap tahunnya, yang berdampak pada pemborosan devisa dan ketergantungan terhadap pasokan luar negeri.

Dalam konteks ini, pembangunan pabrik polistirena dari stirena di Indonesia merupakan langkah yang sangat layak dan strategis. Indonesia telah memiliki sumber bahan baku utama berupa stirena monomer yang diproduksi oleh perusahaan petrokimia nasional seperti Styrimdo Mono Indonesia (SMI). Dengan ketersediaan bahan baku lokal, pendirian pabrik polistirena akan memperkuat rantai pasok industri petrokimia nasional, mengurangi biaya logistik dan impor, serta meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, keberadaan pabrik polistirena juga berpotensi menciptakan lapangan kerja baru, mendorong pertumbuhan industri hilir, serta meningkatkan nilai tambah dari bahan baku dalam negeri. Oleh karena itu, meskipun data pasti konsumsi polistirena belum tersedia secara rinci, fakta ketergantungan pada impor dan terbatasnya kapasitas produksi lokal sudah cukup menjadi dasar kuat bahwa

pembangunan pabrik polistirena di Indonesia merupakan keputusan industri yang tepat dan menguntungkan secara nasional.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Sebelum merancang pendirian sebuah pabrik, menentukan atau menghitung kapasitas dari pabrik merupakan hal yang sangat penting. Untuk menentukan kapasitas pabrik yang akan didirikan maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan pasar dari produk yang dihasilkan. Adapun produsen yang menghasilkan monomer stirena sebagai bahan baku pembuatan polistirena di Indonesia diantaranya adalah:

Tabel 1. 1 Ketersediaan Bahan Baku

No	Nama Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	PT. Graha Swakarsa Prima	45.460
2	Styrindo Mono Indonesia (SMI)	340.000
3	PT. Agumar Chemicalindo	120.000

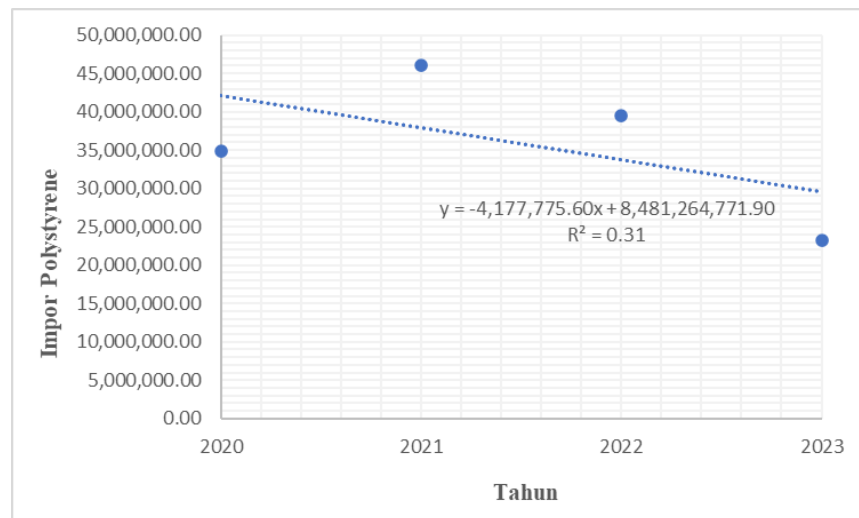
1.2.2 Proyeksi Kebutuhan Polistirena

Data impor polistirena dapat dipakai untuk menghitung dari gambaran kebutuhan plastik pada tahun-tahun produksi yang akan mendatang. Adapun perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan metode perhitungan regresi linear dari data produksi impor yang telah ada.

Tabel 1. 2 Data Impor Polistirena

Tahun	Impor Polistirena (Ton)
2020	34.894,9
2021	46.052,7
2022	39.446,9
2023	23.170,9

Sumber: Badan Pusat Statistik



Gambar 1. 1 Grafik Impor Polistirena di Indonesia

Dari data impor pada Tabel 1.2 dapat diperkirakan kebutuhan dari polistirena di Indonesia pada tahun 2029 dengan menggunakan data regresi linear. Di bawah ini adalah proyeksi dari kenaikan angka kebutuhan polistirena di Indonesia tahun 2020 hingga 2024.

Berdasarkan data impor polistirena, diperoleh persamaan regresi linier:

$$y = -4.177.775,60x + 8.481.264.771,90 \dots\dots\dots (1.1)$$

Dimana nilai x sebagai tahun dan y sebagai jumlah impor polistirena.

Pabrik polistirena direncanakan akan dibangun pada tahun 2029, maka impor polistirena pada tahun 2029 adalah:

$$Y = -4.177.775,60x + 8.481.264.771,90$$

$$Y = -4.177.775,60.(2029) + 8.481.264.771,90$$

$$Y = 4.558.079,5 \text{ ton}$$

Berdasarkan situs PT Citra Cendekia Indonesia (2015), terdapat beberapa industri polistirena di Indonesia, di antaranya:

Tabel 1. 3 Data Industri polistirena di Indonesia

No	Produsen Kapasitas	Kapasitas (ton/tahun)
1	PT Styron Indonesia	70.000
2	PT Arbe Styrimdo	15.000
3	PT Royal Chemical Indonesia	30.000

Sedangkan untuk data produksi polistirena di dunia dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. 4 Data Produksi Polistirena di Dunia

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/tahun)
Baser Petrokimia	Yumurtalky	50.000
Total Petrochemical	Carling Prancis	200.000
Ineos Nova Marl	German	190.000
BASF Antwerp	Belgia	540.000
Dow Chemical Tessengerlo	Belgia	265.000

Berdasarkan pertimbangan teknik, ekonomi, dan pabrik yang telah berdiri di Indonesia maupun pabrik yang mengimpor polistirena di dunia, maka dalam pra-rancangan pabrik polistirena dari monomer stirena dipilih kapasitas sebesar 2% dari total impor polistirena di Indonesia pada tahun 2029 mendatang yaitu sebesar 90.000 ton/tahun.

1.3 Tinjauan Pustaka

Stirena (*pherylethylene, vinylbenzene, styrol, cinnamene*) dengan rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ adalah senyawa turunan benzene dan merupakan senyawa penting dari kelompok monomer aromatic tidak jenuh. Stirena digunakan secara luas dalam pembuatan plastik, termasuk *Crystalline Polystyrene, Rubber-modified Impact Polystyrene, Acrylonitrile-butadiene-Styrene* terpolimer (ABS), *Styrene-acrylonitrile Copolymer* (SAN) dan *Styrene-butadiene Rubber* (SBR). Dalam industri stirena, sebagian besar diperoleh dari dehidrogenasi etil benzene (Kirk and Otmer, 1978).

Polimerisasi stirena dapat dimulai secara termal dan dengan peroksida bifungsional, mengikuti kinetika konvensional dari inisiasi radikal bebas, propagasi, terminasi, dan transfer rantai. Inisiasi termal menjadi substansial pada suhu polimerisasi di atas $100^\circ C$ (Chen, Kai, Peter Voth, dkk., 2000). Kinetika dan termodinamika polimerisasi stirena dalam larutan terjadi dengan pemutusan ikatan satu gugus peroksida dan bukan dengan pemutusan ikatan simultan dari dua gugus peroksida (Yoon Won Jung, Jea Hoon Ryu, and Yeung Ho Park, 1998). Akan tetapi, karena konstanta kinetik dari reaksi perantara inisiasi termal tidak diketahui, penulis menganggap bahwa semua konstanta tidak tergantung pada ukuran rantai polimer tetapi dapat bervariasi dengan konversi (Hui, A.W and Hamielec, A.E., 1972).

Polystyrene atau polistirena adalah polimer yang tersusun dari monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Polistirena pertama kali dibuat pada 1839 oleh Eduard Simon,

seorang apoteker Jerman. Polistirena dapat meningkatkan kekuatan regang pada bahan lain yang ditambahkannya. Selain itu, keunggulan lain polistirena antara lain kuat, tahan lama, mudah dibentuk, dan harganya yang murah. Keunggulan ini membuat *polystyrene* sering digunakan sebagai bahan plastik, pemaketan cakram kompak, dan banyak objek lainnya (Qian, 1991).

Polistirena memiliki rantai hidrokarbon panjang dengan gugus fenil terikat pada salah satu gugus karbon dari setiap monomernya. Polistirena murni berbentuk padatan tidak berwarna. Polistirena komersil umumnya bersifat ataktik dan amorf. Pada suhu mangan, *polystyrene* merupakan suatu termoplastik yang berwujud padat, tetapi meleleh pada temperatur 100°C untuk dicetak dan kemudian dibentuk menjadi padatan kembali. *Polystyrene* merupakan plastik keras dengan kelenturan yang terbatas. Gugus vinil yang terdapat pada stirena menjadikan stirena dapat mengalami reaksi adisi kontinu membentuk suatu polimer *polystyrene* (Su,S., 2004).

Polistirena merupakan bahan termoplastik yang keras, jernih (kecuali jika ditambahkan pewarna atau pengisi), mudah dibentuk tetapi agak rapuh dan melunak pada suhu di bawah 100°C. Polistirena merupakan polimer nonpolar yang tahan terhadap asam, basa, dan zat korosif lainnya, tetapi mudah larut dalam hidrokarbon aromatik. Polistirena banyak digunakan untuk membuat lembaran, penutup, dan barang pencetak. Polistirena berbusa dipengaruhi oleh pemanasan polistirena yang berisi bahan penghasil gas, dengan uap air, untuk memberikan massa jenis rendah bagi busa-sistenn yang sering dipakai adalah butiran polistirena yang menyerap hidrokarbon atsiri,

saat dipanasi oleh uap, butiran akan melunak, dan penguapan hidrokarbon bersama-sama dengan difusi uap ke dalam butiran akan menyebabkan butiran mengembang. Polistirena busa digunakan secara besar-besaran sebagai bahan isolator bahang dan pengemas bahang halus (Cowd, 1991). Metode produksi polistirena diantaranya adalah:

a. Polimerisasi Larutan

Proses ini dilakukan dengan melarutkan monomer dengan pelarut sebelum terjadi polimerisasi. Dalam hal ini, pelarut yang digunakan adalah etil benzena (Kirk and Othmer, 1982): Umumnya etil benzena ditambahkan dengan porsi yang sedikit (biasanya 5-15%) untuk mengontrol kecepatan polimerisasi, menghilangkan panas polimerisasi dan mengurangi viskositas. Reaksi polimerisasi dilakukan pada suhu sedang dan dibantu dengan inisiator untuk mempercepat reaksi. Biasanya benzoil peroksida digunakan sebagai inisiator (Ullmann's, 2005).

Namun, proses ini memiliki kelemahan, yaitu kemungkinan terjadinya pengalihan rantai kepada pelarut yang menyebabkan pembentukan polimer dengan massa molekul yang lebih rendah. Selain itu, untuk memisahkan hasil polimer dan pelarutnya perlu proses lebih lanjut (Kirk and Othmer, 1982).

b. Polimerisasi Bulk

Polimerisasi massal atau polimerisasi massa dilakukan dengan menambahkan inisiator radikal larut ke monomer murni dalam keadaan

cair. Inisiator harus larut dalam monomer. Reaksi dimulai dengan memanaskan atau memaparkan radiasi. Saat reaksi berlangsung, campuran menjadi lebih kental. Reaksi ini eksotermik dan berbagai massa molekul diproduksi.

Polimerisasi massal dilakukan tanpa adanya pelarut atau dispersan dan karenanya paling sederhana dalam hal formulasi. Ini digunakan untuk sebagian besar polimer pertumbuhan-langkah dan banyak jenis polimer pertumbuhan-rantai. Dalam kasus reaksi rantai-pertumbuhan, yang umumnya eksotermik, panas yang berevolusi dapat menyebabkan reaksi menjadi terlalu kuat dan sulit dikendalikan kecuali digunakan pendinginan yang efisien. Polimerisasi massal memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode lain, keunggulan ini :

- 1) Sistemnya sederhana dan membutuhkan isolasi termal.
- 2) Polimer yang diperoleh adalah murni.
- 3) Coran besar dapat disiapkan langsung.
- 4) Distribusi berat molekul dapat dengan mudah diubah
- 5) Produk yang diperoleh memiliki kejernihan optik yang tinggi

Kekurangan dari polimerisasi bulk antara lain :

- 1) Perpindahan panas dan pencampuran menjadi sulit karena viskositas massa reaksi meningkat.
- 2) Masalah perpindahan panas diperparah oleh sifat polimerisasi adisi radikal bebas yang sangat eksotermik .

- 3) Polimerisasi diperoleh dengan distribusi berat molekul yang luas karena viskositas tinggi dan kurangnya perpindahan panas yang baik.
- 4) Berat molekul sangat tinggi diperoleh.
- 5) Untuk mengurangi kerugian polimerisasi massal, proses dapat dilakukan dalam suatu larutan. Ini dikenal sebagai polimerisasi larutan.

c. Polimer Suspensi

Polimer suspensi adalah proses polimerisasi radikal heterogen yang menggunakan agitasi mekanis untuk mencampur monomer atau campuran monomer dalam fase cair, seperti air. Polimerisasi suspensi adalah monomer yang mengandung inisiator yang terlarut disebarkan sebagai tetesan dalam cairan. Hal ini dilakukan dengan pengadukan yang cepat selama reaksi. Polimerisasi terjadi dalam tetesan-tetesan. Keuntungan metode ini adalah mudah dalam pengambilan panas reaksi dan hasil polimer yang terbentuk berupa butiran kecil sehingga mudah disimpan. Kelemahan cara ini yaitu metodenya yang cukup rumit dan perlu ketelitian yang tinggi dalam menjalankan prosesnya (Kirk and Othmer, 1982).

d. Polimerisasi Emulsi

Polimerisasi emulsi adalah jenis polimerisasi radikal yang biasanya dimulai dengan emulsi yang menggabungkan air, monomer, dan surfaktan. Polimerisasi ini menyerupai polimerisasi suspensi. Hal

yang membedakannya adalah terdapat penambahan sabun untuk meningkatkan kualitas tetesan monomer. Sabun membentuk agregat molekul sabun atau misel. Misel ini melarutkan monomer dengan cara mengambil monomer ke bagian dalam misel. Inisiator yang larut dalam fase cair mendifusi ke dalam misel yang dipenuhi molekul-molekul monomer. Selanjutnya, inisiator ini akan memicu terjadinya polimerisasi di dalam misel. Dengan cara ini, polimerisasi bermassa tinggi dapat terbentuk. Polimerisasi emulsi dilakukan mirip dengan polimerisasi suspensi, hanya saja proses ini menggunakan tetesan monomer yang berukuran mikroskopis (Kirk and Othmer, 1982).

Tabel 1. 5 Perbandingan Antar Jenis Proses

Jenis Proses Produksi	Kelebihan	Kekurangan
Polimerisasi Larutan	• Mudah dalam penghilangan panas • Viskositasnya rendah • Pengontrolan suhu lebih mudah • Kemurnian produk tinggi	• Dibutuhkan proses lebih lanjut untuk memisahkan polimer dan pelarutnya • Massa molekul rendah
Polimerisasi Bulk	• Kandungan residu monomer rendah • Kemurnian produk tinggi • Penanganan material mudah	• Sangat eksotermis • Viskositas tinggi • Sulit dalam menghilangkan panas polimerisasi

Jenis Proses Produksi	Kelebihan	Kekurangan
		• Waktu pengerjaan lama
Polimerisasi Suspensi	• Tidak ada kesulitan dengan panas polimerisasi • Polimer berbentuk butiran sehingga mudah disimpan	• Memerlukan ketelitian tinggi • Prosesnya rumit • Memerlukan unit pengering dan pencucian dalam proses produksi
Polimerisasi Emulsi	• Prosesnya cepat tidak ada kesulitan dengan panas polimerisasi • Dapat diterapkan secara kontinyu	• Prosesnya rumit • Dimungkinkan terjadinya kontaminasi polimer dengan air dan agen pengemulsi

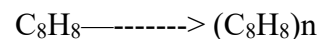
Dalam pabrik polistirena, proses yang dipilih adalah proses polimerisasi larutan. Pemilihan proses ini didasarkan pada beberapa keunggulan teknis dan operasional dibandingkan metode lainnya. Dalam polimerisasi larutan, monomer stirena, inisiator, dan pelarut dicampurkan sehingga reaksi berlangsung dalam satu fase cair homogen. Keberadaan pelarut membantu mengendalikan suhu reaksi yang bersifat eksotermis, sehingga panas yang dihasilkan dapat didispersikan dengan baik dan risiko

reaksi tak terkendali dapat diminimalkan. Selain itu, pelarut juga berperan dalam menurunkan viskositas sistem selama reaksi berlangsung, sehingga mempermudah proses pengadukan dan perpindahan panas, terutama pada konversi tinggi. Oleh karena itu, metode ini dipilih sebagai dasar proses dalam desain pabrik.

1.4 Tinjauan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Reaksi yang terjadi pada pembuatan polistirena yaitu reaksi eksotermis. Berikut entalpi yang terjadi pada pembuatan polistirena :



Menghitung harga tetapan kesetimbangan (K) dengan cara menghitung energi bebas Gibbs (ΔG). Berikut adalah persamaannya :

$$(\Delta G) = \Delta H_p - T \cdot \Delta S \dots\dots\dots (1.2)$$

Diketahui :

$$\Delta H_p = -69,9 \text{ kJ/mol (Brandrup, 1998)}$$

$$= -16,7061 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta S = -0,105 \text{ kJ/mol} \cdot ^\circ\text{C (Billmeyer, 1994)}$$

Dari persamaan 1.2 pada suhu reaksi sebesar 90°C . Maka nilai energi bebas (ΔG):

$$(\Delta G) = -69,9 \text{ kJ/mol} - (130^\circ\text{C} \times -0,105 \text{ kJ/mol} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$= -56,25 \text{ kJ/mol}$$

$$= -13,435 \text{ kkal/mol}$$

Menghitung nilai K

$$\Delta G = -RT \ln K \dots\dots\dots 2.2$$

$$\ln K = \frac{\Delta G}{-RT}$$

$$\ln K = \frac{-14,4476 \text{ kcal/mol}}{\left(-1.987 \times 10^{-3} \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \cdot \text{K}\right) \times 403,15 \text{ K}}$$

$$= 16,772$$

$$K = 2,82$$

Karena nilai K sangat besar sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi *irreversibel* (searah) yang berarti ke arah kanan yaitu produk. Selain itu, harga panas reaksi bernilai negatif yang berarti reaksi pembentukan polistirena bersifat eksotermis (melepaskan panas), dan reaksi ini berlangsung secara spontan karena $\Delta G < 0$.

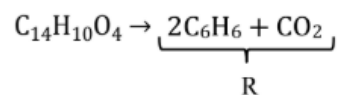
1.4.2 Tinjauan Kinetika

a. Kinetika Reaksi Polimerisasi

1) Tahap Inisiasi

Tahapan awal yang dimana sebagai tempat terjadinya pembentukan radikal bebas. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:

Reaksi pembentukan radikal bebas:



Dimana R merupakan Rantai Benzelyc yang nantinya akan direaksikan dengan reaksi polimer.

2) Tahap Propagasi

Setelah radikal bebas terbentuk, maka reaksi polimer akan bereaksi dengan radikal benzoyl yaitu ketika benzoil peroksida bereaksi.



Kecepatan reaksi pada tahap propagasi adalah:

$$r_p = k_p[\text{RM}^*][\text{M}] \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

r_p = kecepatan reaksi tahap propagasi, mol/(L.jam)

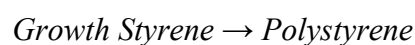
k_p = Konstanta kecepatan reaksi tahap propagasi, L/(mol.jam)

$[\text{RM}^*]$ = Konsentrasi radikal monomer, mol/L

$[\text{M}]$ = Konsentrasi monomer grow styrene, mol/L

3) Tahap Terhimanasi

Reaksi terminasi dapat berupa terminasi kombinasi atau terminasi disproporsionasi atau keduanya. Huang dkk. (1995) mengabaikan reaksi terminasi termasuk radikal primer, radikal CTA, radikal monomer, radikal polimer tulang punggung dan radikal inisiator. Ini karena masing-masing konsentrasi ini beberapa kali lipat lebih rendah daripada spesies radikal polimer. Reaksi yang terjadi pada tahap terminasi adalah:



Kecepatan reaksi pada tahap terminasi adalah:

$$r_t = 2kt[M^*]^2 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

r_t = Kecepatan reaksi tahap terminasi, mol/(L.jam)

kt = Konstanta kecepatan reaksi tahap terminasi,
L/(mol.jam)

$[M^*]$ = Konsentrasi radikal monomer, mol/L

Apabila diasumsikan konsentrasi radikal bebas tetap, maka
kecepatan reaksi inisiasi sama dengan kecepatan reaksi terminasi.

$$r_d = r_t \dots\dots\dots(3)$$

$$2fkd[l] = 2kt[M^*]^2 \dots\dots\dots(4)$$

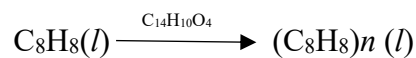
$$[M^*] = \sqrt[0,5]{\frac{f.kd.[l]}{kt}} \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan (5) disubstitusikan ke persamaan (1), sehingga

$$r_p = \sqrt[0,5]{\frac{f.kd.[l]}{kt}} . kp . [M] \dots\dots\dots(6)$$

$$k = kp \sqrt[0,5]{\frac{f.kd.[l]}{kt}} \dots\dots\dots(7)$$

Reaksi pembentukan polistirena:



Data pendukung:

- | | | | |
|----|--------------------------|---|--------------------------------|
| 1) | Faktor efisiensi (f) | = | 0,8 |
| 2) | Konversi reaktor | = | 98% |
| 3) | Konstanta inisiasi (kd) | = | 99,8132 /jam |
| 4) | Konstanta propagasi (kp) | = | $5,4 \times 10^6$ L/mol.jam |
| 5) | Konstanta terminasi (kt) | = | $1,5 \times 10^{10}$ L/mol.jam |

BAB II

PERANCANGAN PABRIK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Polistirena

a. Sifat Fisis

- 1) Rumus molekul = $(C_8H_8)_n$
- 2) Wujud = Padat
- 3) Berat molekul = 100.000-200.000 g/mol
- 4) Densitas = $1,03 - 1,05 \text{ g/cm}^3$
- 5) Konduktifitas panas = $0,16 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$
- 6) Konstanta dielektrik = 2,5-2,7 MHz
- 7) *Tensile modulus* = 1600 – 2800 Mpa
- 8) *Yield tensile strength* = 20 – 45 Mpa
- 9) *Tensile elongation* = 25 – 70%
- 10) *Specific gravity* = 1,04-1,065

(Ullmann's, 2005)

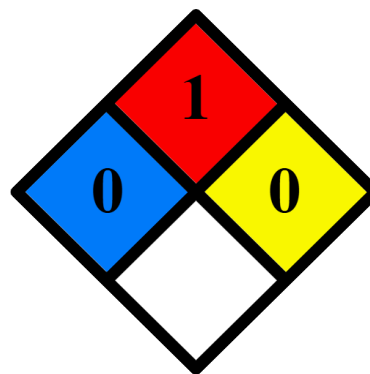
b. Sifat Kimia

- 1) Dalam kondisi tertentu oksidasi asam menyebabkan degradasi oksidatif.
- 2) Dengan akrilonitril dan butadiena membentuk akrilonitril butadiena stirena (ABS).
- 3) Perubahan ikatan rangkap ke ikatan tunggal kurang reaktif.

- 4) Fleksibel dan mudah dibentuk padatan karena kekuatan Van der Waal yang kuat, yang ada antara rantai hidrokarbon yang panjang.
- 5) Larut dengan pelarut organik, terutama yang mengandung aseton.

(Ullmann's, 2005)

c. Identifikasi *Hazard*



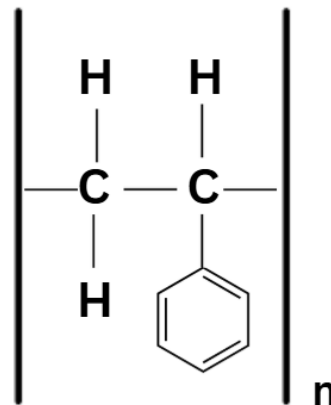
Gambar 2. 1 Diamond *Hazard* Polistirena

Diamond hazard menunjukkan tingkat bahaya suatu bahan kimia berdasarkan empat kategori. Secara keseluruhan, diamond ini menunjukkan bahwa polistirena relatif aman, dengan risiko kecil terhadap kebakaran dan tidak memberikan risiko kesehatan atau ketidakstabilan. Bagian merah menunjukkan bahaya kebakaran, dengan angka 1 yang berarti bahan dapat terbakar jika dipanaskan, menunjukkan tingkat bahaya kebakaran yang rendah.

Bagian biru mewakili bahaya kesehatan, dengan angka 0 yang menunjukkan bahwa bahan ini tidak memiliki risiko

kesehatan yang signifikan dalam kondisi normal. Bagian kuning menunjukkan ketidakstabilan bahan, dan angka 0 menunjukkan bahwa bahan ini stabil serta tidak reaktif dengan bahan lain, bahkan dalam kondisi kebakaran. Bagian putih, yang digunakan untuk menunjukkan bahaya khusus seperti reaktivitas dengan air atau sifat oksidator, kosong, yang berarti tidak ada informasi bahaya tambahan.

d. Rumus Molekul



Gambar 2. 2 Rumus Molekul Polistirena

Dalam proses polimerisasi, ikatan rangkap pada gugus vinil mengalami pembukaan melalui mekanisme radikal bebas (ataupun secara alternatif melalui mekanisme ionik), sehingga monomer-monomer stirena dapat bergabung membentuk rantai panjang yang tersusun atas unit-unit berulang. Unit berulang polistirena ditandai dengan keberadaan dua atom karbon utama dalam rantai utama, yakni gugus metilena ($-\text{CH}_2-$) dan gugus metina tersubstitusi ($-\text{CH}-$) yang membawa substituen berupa cincin aromatik fenil ($-\text{C}_6\text{H}_5$). Secara struktural, satu unit

berulang polistirena dituliskan sebagai $-\text{[CH}_2\text{--CH(C}_6\text{H}_5\text{)]-}$ dan dalam bentuk molekul polimer dapat diekspresikan sebagai $(\text{C}_8\text{H}_8)_n$, dengan n menunjukkan jumlah unit monomer yang terpolimerisasi. Keberadaan gugus fenil yang kaku dan bersifat non-polar memberikan pengaruh besar terhadap sifat fisik polistirena, antara lain kekakuan mekanik, transparansi, dan ketahanan terhadap air dan pelarut non-polar, namun juga membuatnya relatif rapuh dan mudah retak di bawah tekanan atau benturan.

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Bahan Baku

a. Stirena Monomer

1) Sifat Fisis

a)	Rumus molekul	=	C_8H_8
b)	Wujud	=	Cair
c)	Berat molekul	=	104,153 g/mol
d)	Densitas pada 25°C	=	0,8998 g/mL
e)	Densitas kritis	=	0,297 g/mL
f)	Viskositas pada 25°C	=	0,6719 cp
g)	Tekanan kritis	=	38,3 Mpa
h)	Suhu kritis	=	362,1°C
i)	Volume kritis	=	3,37 mL/g
j)	Titik didih pada 1 atm	=	145,15°C

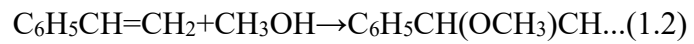
- k) *Flash point* = 31,1°C
- l) *Autoignition point* = 490°C
- m) Panas pembakaran (ΔH_c)
pada 25°C = -4,263 kJ/mol
- n) Panas pembentukan (ΔH_f)
 - 1) Gas (25°C) = 147,4 kJ/mol
 - 2) Cair (25°C) = 103,4 kJ/mol
- o) Panas polimerisasi (ΔH_p)
pada 25°C = -69,9 kJ/mol
- p) Panas penguapan (ΔH_v)
pada 25°C = 421,7 J/g
- q) Kelarutan dalam air = 0,03% berat
- r) Kemurnian = 99,85%
- s) Etil Benzena = Maksimal 0,13% berat
- t) Toluena = Maksimal 0,20% berat
- u) *Explosion limit* = *Lower Explosive Limit*
(LEL) 1,1% dan *Upper Explosive Limit* (UEL)
6,1%

2) Sifat Kimia

- a) Dapat terpolimerisasi dengan cepat membentuk polistirena dengan cepat.

- b) Alkilasi stirena dengan methanol menjadi metil eter

Reaksi yang terjadi:

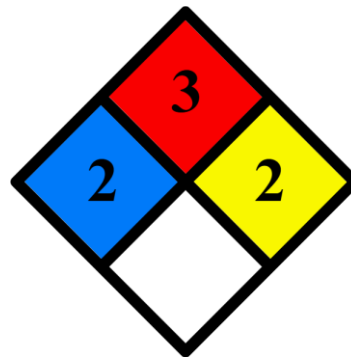


- c) Polimerisasi stirena menjadi polivinilbenzena Reaksi yang terjadi :



- d) Oksidasi stirena di udara stirena akan teroksidasi menjadi berbagai senyawa lain, termasuk benzaldehida, formaldehida, asam format, dan alkena jenis lainnya. (Ullmann's, 2005)

3) Identifikasi Hazard

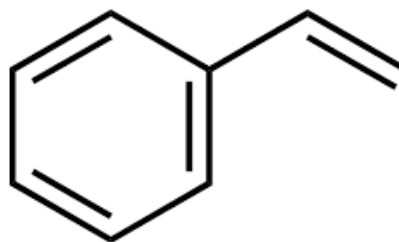


Gambar 2. 3 *Diamond Hazard* Monomer Stirena

Diamond Hazard monomer stirena secara keseluruhan memiliki risiko tinggi terhadap kebakaran, risiko sedang terhadap kesehatan, dan ketidakstabilan, sehingga memerlukan penanganan dan penyimpanan yang hati-hati. Bagian merah menunjukkan tingkat bahaya kebakaran dengan angka 3, yang berarti bahan ini sangat

mudah terbakar dan dapat menyala dengan cepat jika terkena panas, percikan api, atau api terbuka. Bagian biru menggambarkan bahaya terhadap kesehatan dengan angka 2, yang menunjukkan bahwa paparan bahan ini dapat menyebabkan kerusakan atau cedera serius jika terjadi paparan yang cukup lama atau intens. Bagian kuning menunjukkan ketidakstabilan bahan dengan angka 2, artinya bahan ini berpotensi mengalami reaksi kimia hebat, termasuk kemungkinan ledakan, jika terkena panas atau tekanan. Bagian putih kosong, yang berarti tidak ada bahaya tambahan seperti reaksi dengan air atau sifat oksidator.

4) Rumus Molekul



Gambar 2. 4 Gambar molekul stirena

Stirena secara struktur kimia dituliskan sebagai $C_6H_5CH=CH_2$, yang terdiri dari gugus fenil (C_6H_5-) yang terikat pada gugus vinil ($-CH=CH_2$). Jika dijumlahkan, gugus fenil menyumbang enam atom karbon dan lima atom hidrogen, sedangkan gugus vinil menyumbang dua atom

karbon dan tiga atom hidrogen. Dengan demikian, total terdapat 8 atom karbon dan 8 atom hidrogen, sehingga rumus molekul stirena dapat disederhanakan menjadi C_8H_8 . Penulisan $C_6H_5CH=CH_2$ digunakan untuk menunjukkan struktur fungsional spesifik dari senyawa tersebut, namun secara molekuler, bentuk paling ringkasnya tetap dinyatakan sebagai C_8H_8 .

2.2.2 Bahan Pendukung

a. Etil Benzena

1) Sifat Fisis

- a) Rumus molekul = C_8H_{10}
- b) Wujud = Cair
- c) Berat molekul = 106,168 g/mol
- d) Densitas pada 25°C = 0,86262 g/cm³
- e) Viskositas pada 25°C = 0,6317 cp
- f) Titik beku = -94,949°C
- g) Titik didih pada 1 atm = 136,2°C
- h) Kelarutan dalam air = 0,001% berat
- i) Kapasitas panas
 - (1) Untuk gas ideal
 - (25°C) = 1169 J/kgK
 - (2) Untuk cairan

$$(25^{\circ}\text{C}) = 1752 \text{ J/kgK}$$

- j) Tekanan kritis : 36,09 bar
- k) Suhu kritis : 344,02°C
- l) Faktor aksentrik : 0,3026
- m) Kompresibilitas kritis : 0,263
- n) Flash point : 15°C
- o) Kemurnian : 99,85% berat
- p) Benzena : Maksimal 0,30% berat
- q) Toluena : Maksimal 0,30% berat

2) Sifat Kimia

a) Reaksi Dehidrogenasi

Proses ini dilakukan pada fase gas dengan katalis Fe_2O_3 dan membutuhkan panas.

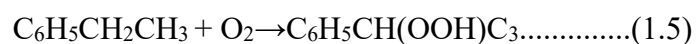
Reaksi yang terjadi:



b) Reaksi Oksidasi

Reaksi oksidasi menghasilkan etil benzena hidroperoksid.

Reaksi yang terjadi:



Reaksi fase cair dengan udara digelembungkan melalui cairan terhadap katalis. Hidroperoksida

merupakan senyawa yang tidak stabil, maka kemungkinan kenaikan temperatur harus dihindari

karena akan terjadi dekomposisi.

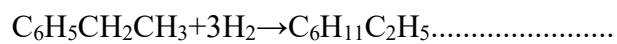
Polietilbenzena merupakan produk samping dari pembuatan etilbenzena.

c) Reaksi Hidrogenasi

Dapat terjadi dengan bantuan katalis Ni, Pt, atau Pd

menghasilkan etilsiklohexana.

Reaksi yang terjadi:

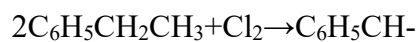


. (1.6)

d) Reaksi Halogenasi

Dapat terjadi dengan adanya bantuan panas atau cahaya.

Reaksi yang terjadi:



(Ullmann's, 2005)

3) Identifikasi Hazard

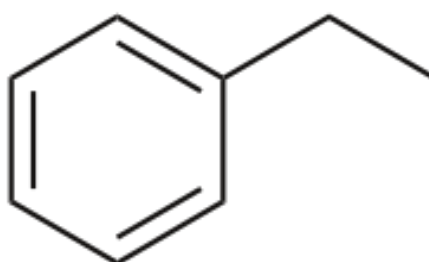


Gambar 2. 5 *Diamond Hazard* Etil Benzena

Diamond Hazard menunjukkan bahwa zat ini memiliki tingkat bahaya kesehatan yang sedang, dengan potensi menyebabkan ketidakmampuan sementara atau cedera. Bagian merah dengan angka 3 menunjukkan tingkat bahaya kebakaran yang serius. Klasifikasi ini menandakan bahwa substansi ini merupakan bahan yang mudah terbakar dan dapat menyala dalam kondisi suhu lingkungan yang hampir semua. Bagian biru yang menampilkan angka 2 mengindikasikan tingkat bahaya kesehatan yang moderat. Hal ini berarti paparan terhadap substansi ini dapat menyebabkan ketidakmampuan sementara atau cedera yang tersisa jika terjadi kontak. Sementara bagian kuning dengan angka 0 mengindikasikan tingkat reaktivitas yang minimal. Ini mengimplikasikan bahwa substansi ini umumnya stabil dan tidak akan mengalami reaksi berbahaya

bahkan dalam keadaan kebakaran. Bagian yang berwarna putih disediakan untuk informasi bahaya khusus apa pun, tetapi dalam kasus ini, itu dibiarkan kosong, menandakan tidak ada bahaya unik tambahan yang terkait dengan etil benzena.

4) Rumus Molekul



Gambar 2. 6 Gambar molekul etil benzena

Etilbenzena secara struktur dituliskan sebagai $C_6H_5CH_2CH_3$, yaitu cincin benzena (C_6H_5-) yang terikat pada gugus etil ($-CH_2CH_3$). Gugus benzena menyumbang enam atom karbon dan lima atom hidrogen, sedangkan gugus etil menyumbang dua atom karbon dan lima atom hidrogen. Jika dijumlahkan, total terdapat delapan atom karbon dan sepuluh atom hidrogen, sehingga rumus molekul sederhananya adalah C_8H_{10} .

b. Benzoil Peroksida

1) Sifat Fisis

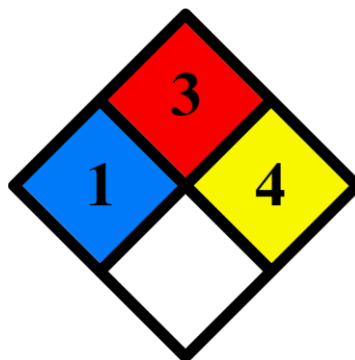
a) Rumus molekul = $C_{14}H_{10}O_4$

- b) Wujud = Padat
- c) Berat molekul = 242,23 g/gmol
- d) Densitas (25°C) = 1,199 g/cm³
- e) Viskositas = 1,85 cp
- f) *Specific heat* = 0,1211 cal/g°C
- g) Titik leleh (1 atm) = -8°C
- h) Titik didih (1atm) = 115°C

2) Sifat Kimia

- a) Tereduksi dengan katalis platinum
 - b) Jika dipanaskan akan terdekomposisi menjadi peroxide dan diphenyl
 - c) Dengan amina sekunder akan menjadi derivate benzoyl
 - d) Larut dalam pelarut organik, stirena, dan methyl methacrylate
- (Ullmann's, 2005)

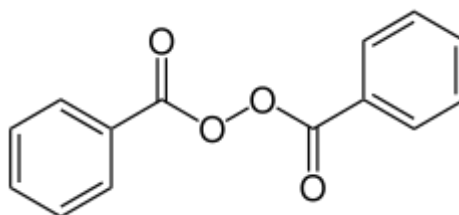
3) Identifikasi *Hazard*



Gambar 2. 7 *Diamond Hazard Benzoyl Peroksida*

Secara keseluruhan, *diamond hazard* Benzoin Peroksida ini menunjukkan bahwa benzoin peroksida harus ditangani dengan perhatian khusus untuk mencegah risiko kesehatan dan kebakaran. Bagian merah menampilkan angka 3 yang mengindikasikan tingkat bahaya kebakaran yang cukup tinggi. Ini mengindikasikan bahwa senyawa ini mudah terbakar dan perlu penanganan yang hati-hati. Bagian biru menunjukkan angka 1 yang melambangkan tingkat bahaya kesehatan. Ini berarti bahwa paparan terhadap senyawa ini dapat menimbulkan efek kesehatan yang minor atau sementara jika terjadi kontak atau terhirup. Bagian kuning menunjukkan angka 4 yang mewakili tingkat bahaya reaktivitas yang sangat tinggi. Ini berarti senyawa ini sangat reaktif dan dapat berpotensi menimbulkan ledakan atau reaksi kimia yang berbahaya jika tidak ditangani dengan benar. Sementara, bagian berwarna putih menunjukkan bahwa senyawa Benzoin Peroksida tidak memiliki bahaya khusus atau masalah reaktivitas yang signifikan.

4) Rumus Molekul



Gambar 2. 8 Gambar molekul benzoil peroksida

Benzoil peroksida memiliki struktur yang terdiri dari dua gugus benzoil ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}-$) yang dihubungkan oleh gugus peroksida ($-\text{O}-\text{O}-$). Jika dirinci, masing-masing gugus benzoil mengandung tujuh atom karbon (enam dari cincin fenil dan satu dari gugus karbonil) dan lima atom hidrogen. Karena ada dua gugus benzoil, totalnya menjadi 14 atom karbon dan 10 atom hidrogen. Selain itu, terdapat empat atom oksigen: dua dari gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) dan dua dari jembatan peroksida ($-\text{O}-\text{O}-$). Dengan demikian, rumus molekul benzoil peroksida dapat disederhanakan menjadi $\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$.

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan teknik yang sangat bermanfaat agar suatu perusahaan dapat mengetahui kualitas produknya sebelum dipasarkan kepada konsumen. Teknik dalam pengendalian kualitas merupakan suatu teknik yang dapat membantu suatu perusahaan dalam mengetahui kelayakan dan kualitas produk berdasarkan batas-batas kontrol yang telah ditentukan.

Dengan mengimplementasikan pengendalian kualitas, perusahaan akan memiliki beberapa keuntungan. Diantaranya adalah perusahaan dapat meningkatkan kualitas produk yang akan dihasilkan guna mendapatkan suatu produk dengan hasil maksimal, meningkatkan produktivitas dengan mengurangi produk yang cacat pada saat produksi, menghilangkan biaya yang tidak perlu pada saat proses produksi, mengantisipasi ketidaksesuaian dalam proses produksi sehingga produk yang akan dihasilkan akan tetap sesuai dengan standar dan spesifikasi yang telah ditentukan atau diinginkan oleh perusahaan, serta dapat meningkatkan profit yang didapatkan oleh perusahaan. Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan guna untuk mengetahui sejauh mana kualitas *styrene* yang digunakan untuk produksi agar sesuai dengan mutu standar yang sudah ditetapkan, apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan untuk proses. Pengendalian kualitas produk dilakukan untuk menjaga kualitas *polystyrene* yang nantinya akan dihasilkan. Pada pengendalian kualitas produk ini dilakukan beberapa tahapan proses mulai dari persiapan bahan baku hingga menjadi suatu produk yang siap dioperasikan. Pengendalian ini antara lain meliputi pengawasan terhadap mutu bahan baku yang akan digunakan, bahan pembantu, produk setengah jadi maupun produk penunjang mutu proses. Pengendalian kualitas proses produksi dilakukan menggunakan alat pengendali di dalam control room, dimana terdapat controller yang tersambung dengan sensor tertentu yang terpasang pada tiap alat proses sehingga memudahkan dalam

pengendalian sistem setiap tahapan proses produksi. Alat kontrol yang harus diatur pada kondisi tertentu antara lain:

a. *Level Controller*

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

b. *Flow Rate Controller*

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

c. *Temperature Controller*

Alat ini mempunyai *set point* atau batasan nilai suhu yang dapat diatur. Ketika nilai suhu aktual yang diukur melebihi *set point* maka *output* akan bekerja.

d. *Pressure Controller*

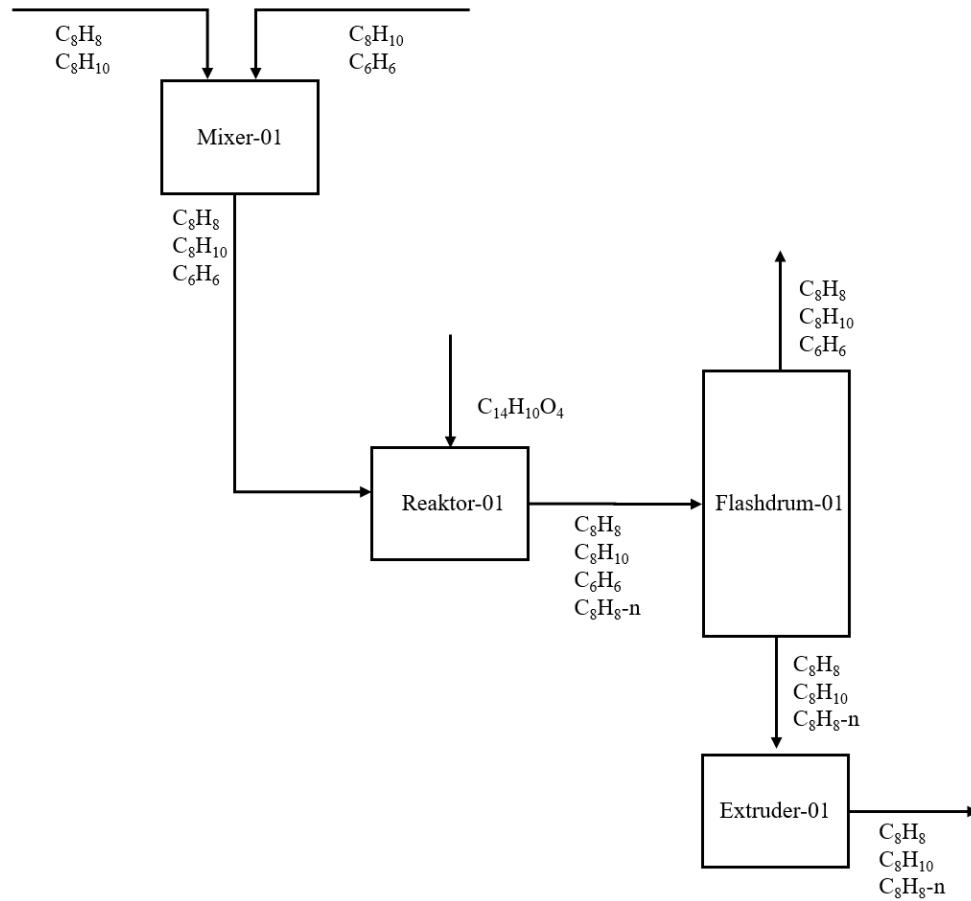
Pressure controller merupakan alat yang digunakan untuk mengatur tekanan dalam suatu system. Alat ini bekerja dengan memantau tekanan aktual dan membandingkannya dengan nilai *set point* yang telah ditentukan. Jika terjadi perbedaan antara tekanan aktual dan *set point*, *pressure controller* akan mengatur katup atau perangkat pengontrol lainnya untuk menjaga tekanan tetap stabil sesuai kebutuhan proses.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

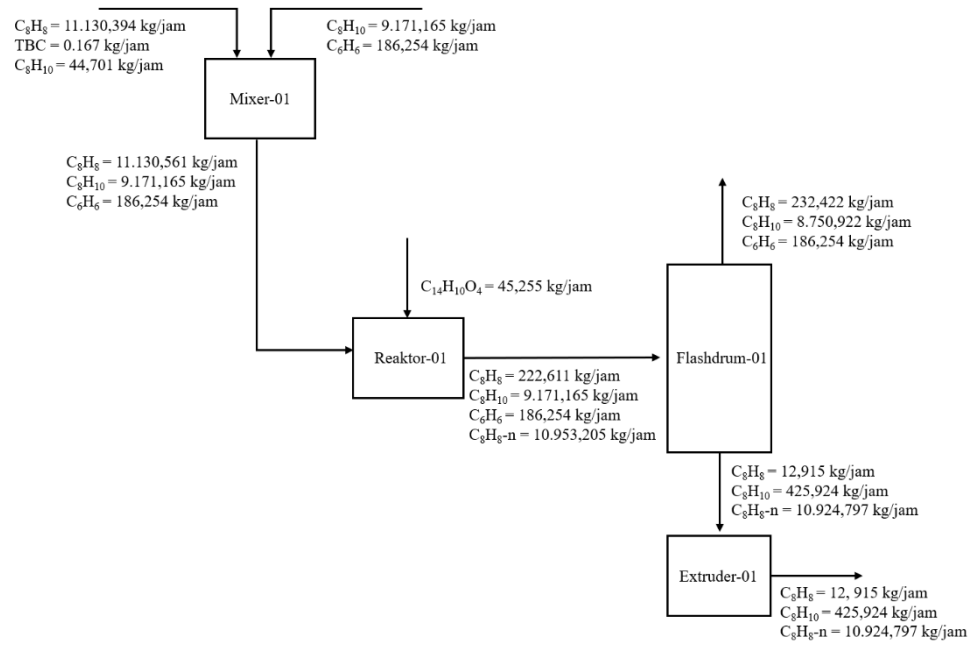
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

3.2.1 Tahap Preparasi

Proses produksi polistirena dari stirena dimulai dari tahap penyiapan bahan baku. Stirena cair disimpan dalam tangki penyimpanan T-01, sedangkan etil benzena sebagai pelarut disimpan dalam T-02. Kedua umpan ini dipompa masing-masing menggunakan pompa P-01 dan P-02 menuju M-01. Selain itu, terdapat juga arus *recycle* yang sebelumnya sudah dikondensasi untuk masuk ke dalam M-01. Di dalam *mixer* ini, stirena dan etil benzena dicampur secara merata untuk memastikan campuran homogen sebelum memasuki proses reaksi. Setelah proses pencampuran selesai, campuran dialirkan menggunakan pompa P-03 menuju HE-01. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memanaskan campuran menggunakan *steam* agar mencapai suhu 130°C sebelum memasuki reaktor. Secara paralel, inisiator yaitu benzoil peroksida dalam bentuk padatan ditambahkan melalui S-01, lalu dibawa menuju reaktor melalui BC-01, dan BE-01. Inisiator ini penting untuk memulai reaksi radikal bebas dalam proses polimerisasi.

3.2.2 Reaksi Polimerisasi

Campuran keluar dari mixer kemudian masuk ke CSTR (*Continuous Stirred-Tank Reactor*) atau R-01. Di dalam reaktor ini, berlangsung proses polimerisasi larutan, di mana stirena bereaksi menjadi polistirena dalam medium pelarut dengan konversi 98%. Reaktor beroperasi pada tekanan 1 atm dan suhu 130 °C yang dikontrol

oleh jaket pendingin. Reaksi berlangsung secara kontinu dengan pengadukan untuk memastikan homogenitas suhu dan campuran, serta menjaga distribusi massa yang merata. Campuran reaktan, produk, pelarut, dan sisa monomer keluar dari reaktor dalam bentuk larutan kental.

3.2.3 Tahap Pemurnian dan Pemisahan Produk

Produk dari reaktor kemudian diarahkan menuju HE-02 untuk menaikkan suhu menjadi 250°C. Selanjutnya, senyawa dialirkan menggunakan pompa ke *flash drum*. Di dalam FD-01, dilakukan pemisahan termal antara komponen ringan (seperti sisa monomer dan pelarut) yang menguap ke atas dan larutan polistirena yang tertinggal di bagian bawah. Lalu, campuran yang telah menguap akan dikondensasi menggunakan CD-01 untuk mengubah fase dari gas menjadi liquid. Gas yang telah menjadi liquid ini akan di *recycle* ke dalam M-01 untuk digunakan kembali.

Sementara itu, aliran bawah dari FD-01 yang mengandung larutan polistirena dikirim ke CL-01 untuk menurunkan suhu, dan kemudian dipompa menggunakan P-06 ke *extruder*. Di dalam *extruder*, polistirena akan dicetak menjadi *pellet*. Setelah dicetak, produk akan dibawa oleh BC-02 dan BE-02 menuju silo (S-02) untuk disimpan.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Alat Proses

a. Mixer-01

Kode = M-01

Fungsi = Mencampurkan bahan baku sebelum masuk ke reaktor

Jenis = *Torispherical dished head with conical bottom*

Jumlah = 1

Kondisi operasi

Tekanan = 1 atm

Suhu = 30 °C

Bahan Konstruksi = *Stainless Steel 304*

Dimensi Mixer

Diameter = 1,5113 m

Tinggi = 3,029 m

Tebal *Shell* = 0,1875 in

Tebal *Head* = 0,1875 in

Pengaduk Mixer

Jenis = *Turbin 6 curved blade*

Diameter Pengaduk = 0,5048 m

Jumlah Pengaduk = 2 buah

Lebar *Baffle* = 0,0505 m

Kecepatan Putaran = 190 rpm

Power	=	8 hp
Harga	=	\$ 457,141.98

b. Reaktor

Spesifikasi Umum

Fungsi	=	Mereaksikan stirena menjadi polistirena
Jenis/Tipe	=	Reaktor Tangki Alir Berpengaduk
Mode Operasi	=	Kontinyu
Jumlah	=	1 Unit
Harga	=	\$ 341,229.20

Kondisi Operasi

Suhu	=	130°C
Tekanan	=	1 atm
Kondisi Proses	=	Isotermal

Konstruksi dan Material

Bahan Kontruksi	=	<i>Stainless Steel 304</i>
Diameter Reaktor	=	2,1086 m
Tebal Shell	=	0,1875 in
Tinggi Reaktor	=	4,6626 m
Tinggi Cairan Shell	=	4,2019 m
Tinggi Head (OA)	=	0,2227 m
Tebal Head	=	0,1741 in
Volume Shell	=	14,7322 m ³

Volume Head	=	0,1334 m ³
Volume Reaktor	=	14,9990 m ³
Jenis Head	=	<i>Torispherical Flanged and Dished Head</i>

Spesifikasi Khusus

Pengaduk Reaktor

Jenis	=	<i>Flat six blade open turbine impeller</i>
Diameter	=	0,7029 m
Jarak	=	0,7029 m
Lebar Pengaduk	=	0,1406 m
Lebar <i>Buffle</i>	=	0,1195 m
Power	=	10 hP
Kecepatan Putar	=	125 rpm
Jumlah	=	1 buah

Pendingin Koil

Panjang	=	1,572 m
Tinggi	=	2,19 m
Luas Selimut	=	29,033 ft ²

c. *Extruder-01*

Kode	=	EX-01
Fungsi	=	Membentuk produk menjadi bentuk <i>pellet</i>

Jumlah	=	1
Jenis	=	<i>Screw Extruder</i>
Material	=	<i>Stainless Steel 304</i>

Kondisi Operasi

Suhu	=	200 °C
Tekanan	=	1 atm

Spesifikasi Alat

Ukuran <i>die</i>	=	5 mm
Diameter barrel	=	0,6091 m ³
Tebal barrel	=	0.029 m
Daya	=	13 hp
Panjang barrel	=	1,8273 m
Volume barrel	=	0,532 m ³
Jumlah air yang dibutuhkan	=	5172,5006 kg/jam
Harga	=	\$ 54,952.17

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah

a. *Flash Drum*

Kod	=	FD-01
Fungsi	=	Memisahkan pelarut etilbenzena dan monomer yang tidak bereaksi dari larutan polimer

Jenis = Tangki vertikal dengan *torispherical flanged and dished head*

Material = *Stainless Steel 304*

Jumlah = 1

Kondisi Operasi

Suhu, °C = 250 °C

Tekanan = 0,4 atm

Diameter, ft = 42 in

Tebal Shell, in = 0,1875 in

Tinggi Shell = 2,1858 m

Tebal Head, in = 0,1875 in

Tinggi Head = 0,11 m

Tinggi Total = 2,4061 m

Harga = \$ 18,901.54

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

a. Tangki Penyimpanan Stirena

Kode = T-01

Fungsi = Menyimpan bahan baku berupa
stirena

Lama Penyimpanan = 7 Hari

Fasa = Cair

Jenis = Tangki silinder tegak dengan dasar datar (*flat bottom*) dan bagian atas berbentuk *torispherical roof*

Jumlah = 1 buah

Kondisi Operasi

Tekanan = 1 atm

Suhu = 30°C

Spesifikasi

Bahan = *Stainles Steel 304*

Volume = 1.640,36 m³

Diameter = 15,24 m

Tinggi Tangki = 7,31 m

Jumlah *Course* = 12

Tebal *Shell* = 0,02 m

Inhibitor = TBC (*4-tert-butylcatechol*)

Head and Bottom

Jenis *Head* = *Torispherical roof*

Tebal *Head* = 0,025 m

Jenis *Bottom* = *Flat bottom*

Tebal *Bottom* = 0,032 m

Harga = \$ 7,389,001.62

b. Tangki Penyimpanan Etil Benzena

Kode = T-02

Fungsi = Menyimpan bahan baku berupa etil benzena

Lama Penyimpanan = 7 Hari

Fasa = Cair

Jenis = Tangki silinder tegak dengan dasar datar (*flat bottom*) dan bagian atas berbentuk *torispherical roof*

Jumlah = 1 buah

Kondisi Operasi

Tekanan = 1 atm

Suhu = 30°C

Spesifikasi

Bahan = *Stainles Steel 304*

Volume = 71,131 m³

Diameter = 6,096 m

Tinggi Tangki = 2,438 m

Jumlah *Course* = 5

Tebal *Shell* = 0,02 m

Head and Bottom

Jenis *Head* = *Torispherical roof*

Tebal *Head* = 0,01 m

Jenis *Bottom* = *Flat bottom*

Tebal *Bottom* = 0,032 m

Harga = \$ 2,249,534.10

c. **Silo Benzoil Peroksida**

Kode = S-01

Fungsi = Menyimpan bahan baku berupa
benzoil peroksida

Lama Penyimpanan = 30 hari

Fasa = Padat

Jenis = Silinder tegak dengan *conical*
bottom dan *flat head*

Jumlah = 1 buah

Kondisi Operasi

Suhu = 30°C

Tekanan = 1 atm

Spesifikasi

Bahan = *Stainless Steel 304*

Volume = 865,178 ft³/jam

Diameter *Shell* = 2,4496 m

Tebal *Shell* = 0,19 in

Harga = \$ 36,801.68

d. **Silo Polistirena**

Kode = S-02

Fungsi = Menyimpan produk berupa
polistirena

Lama Penyimpanan = 7 hari

Fasa = Padat

Jenis = Silinder tegak dengan *conical bottom* dan *flat head*

Jumlah = 1 buah

Kondisi Operasi

Suhu = 30°C

Tekanan = 1 atm

Spesifikasi

Bahan = *Stainless Steel 304*

Volume = 12.841,727 ft³/jam

Diameter *Shell* = 6,02 ft

Tebal *Shell* = 0,5 in

Harga = \$ 715,379.63

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

a. Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat

Kode Alat	BC-01	BE-01
Fungsi peruntukan alat	Mengangkut benzoil peroksida menuju BE-01	Mengangkut benzoil peroksida dari BC-01 ke R-01
Nama bahan	Benzoil peroksida	Benzoil peroksida
Tekanan (atm)	1	1
Suhu (°C)	30	30
Bentuk bahan	<i>Powder</i>	<i>Powder</i>

Kode Alat	BC-01	BE-01
Jenis Conveyor	<i>Belt Conveyor</i>	<i>Belt Elevator</i>
Kapasitas (ton/jam)	0,0543	0.0543
<i>Speed</i> (ft/min)	0,31178	0,8728
Motor power (hP)	1,5	0,05
Dimensi (m)	Panjang: 7,62 Lebar: 0,3556	Panjang: 8,7091 Lebar: 0,1778 Tinggi: 4,2171
<i>Driver Pulley Diameter</i> (in)	-	Head: 20 in Tall: 14 in
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel 304</i>	
Harga (Rupiah)	\$ 16,898.73	\$ 8,637.13

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat (2)

Kode Alat	BC-02	BE-02
Fungsi peruntukan alat	Mengangkut produk polistirena dari EX-01	Mengangkut <i>pellet</i> dari BC-02 ke S-02
Nama Bahan	Polistirena	Polistirena
Tekanan (atm)	1	1
Suhu (°C)	30	30
Bentuk Bahan	<i>Pellet</i>	<i>Pellet</i>
Jenis Conveyor	<i>Belt Conveyor</i>	<i>Belt Elevator</i>

Kode Alat	BC-02	BE-02
Kapasitas (ton/jam)	13,6364	13,6364
<i>Speed</i> (ft/min)	100	205,6149
Motor <i>power</i> (hP)	7,5	1
Dimensi (m)	Panjang: 7,62 Lebar: 0,3356	Panjang: 7,8184 Lebar: 0,2286 Tinggi: 1,75
<i>Driver</i> <i>Pulley</i> Diameter (in)	-	Head: 20 in Tall: 14 in
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel 304</i>	
Harga (Rupiah)	\$ 16,898.73	\$ 18,776.37

b. Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

Parameter	P-01	P-02	P-03
Fungsi Peruntukan Alat	Mengalirkan bahan baku stirena menuju M-01	Mengalirkan bahan baku etilbenzena menuju M-01	Mengalirkan aliran M-01 menuju R-01
Tipe	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Impeller	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>
Bahan Konstruksi	<i>Commercial steel</i>		

Parameter	P-01	P-02	P-03
Viskositas (cP)	0,5180	0,2340	0,6359
Spesifikasi	Kapasitas: 14,973 m ³ /jam Kecepatan aliran: 2,868 ft/s	Kapasitas: 0,7876 m ³ /jam Kecepatan aliran: 1,289 ft/s	Kapasitas: 28,089 m ³ /jam Kecepatan aliran: 0,794 ft/s
Total Head (m)	5.656	3,499	3,282
Ukuran Pipa	ID: 3,07 in OD: 3,5 in IPS: 3 in Flow Area: 7,38 in ²	ID: 1,049 in OD: 1,32 in IPS: 1 in Flow Area: 0,864 in ²	ID: 7,981 in OD: 8,625 in IPS: 8 in Flow Area: 50 in ²
Daya Pompa (watt)	519,834	53,95	354,563
Daya Motor (watt)	745.7	372,85	2237,1
Kecepatan Putar (rpm)	3178,61	1047,117	6548,206
Harga (Rupiah)	\$ 16,022,5	\$8,386.78	\$28,790,43

Tabel 3. 4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair (2)

Parameter	P-04	P-05
Fungsi Peruntukan Alat	Mengalirkan aliran R-01 menuju FD-01	Mengalirkan aliran FD-01 menuju EX-01
Tipe	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Impeller	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>
Bahan Kontruksi	<i>Commercial Steel</i>	
Viskositas (cP)	0,112	1,0361
Spesifikasi	Kapasitas: 22,102 m ³ /jam Kecepatan aliran: 2,46 ft/s	Kapasitas: 14,783 m ³ /jam Kecepatan aliran: 2,832 ft/s
Total Head (m)	4,977	3,893

Parameter	P-04	P-05
Ukuran Pipa	ID: 4.026 in OD: 4,5 in IPS: 4 in Flow Area: 12,7 in ²	ID: 3,068 in OD: 3,5 in IPS: 3 in Flow Area: 7,38 in ²
Daya Pompa (watt)	827,545	459,273
Daya Motor (watt)	745,7	745,7
Kecepatan Putar (rpm)	4.250,641	4.170,599
Harga (Rupiah)	\$19,026.72	\$14,270.04

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. *Heater 1*

Kod = HE-01

Fungsi = Menaikkan temperatur umpan dari 30°C menjadi 130°C dari *mixer* menuju reaktor

Jenis = *Double Pipe Heat Exchanger*

Fluida panas = *Steam*

Fluida dingin = *Light Organics*

Kondisi Operasi

Fluida dingin

Suhu Masuk = 30°C

Suhu Keluar = 130°C

Fluida panas

Suhu Masuk = 270°C

Suhu Keluar	=	270°C
Tekanan	=	54 atm
Jumlah	=	1 unit

Inner Pipe (Light Organics)

IPS	=	2 in
ID	=	2,067 in
OD	=	2,38 in
<i>Surface area</i>	=	0,622 ft ² /ft
ΔP_{allow}	=	0,0904 psi

Annulus (Steam)

IPS	=	3 in
ID	=	3,068 in
OD	=	3,5 in
<i>Surface area</i>	=	0,917 ft ² /ft
$\Delta P_{allow, psi}$	=	0,2421 psi
Hairpin	=	2 buah
Panjang total	=	80 ft
Luas Transfer Panas	=	54,263 ft ²
<i>RD Calculated</i>	=	0,0023 hr.ft ² .°F/Btu
Harga	=	\$72,226.43

b. *Heater 2*

Kode	=	HE-02
------	---	-------

Fungsi = Menaikkan temperatur umpan dari 130°C menjadi 250°C dari reaktor menuju *flash drum*

Jenis = *Shell and Tube Heat Exchanger*

Jenis bahan = *Stainless steel 304*

Fluida panas = *Steam*

Fluida dingin = *Light Organics*

Fluida dingin

Suhu Masuk = 130°C

Suhu Keluar = 250°C

Fluida panas

Suhu Masuk = 270°C

Suhu Keluar = 270°C

Tekanan = 54 atm

Jumlah = 1 unit

Shell Side (Fluida Dingin)

ID = 27 in

Pitch = 1,25 in

Baffle = 27 in

Pressure Drop = 4,78 psi

Tube Side (Fluida Panas)

OD = 1 in

ID = 0,87 in

BWG	=	16 in
L (<i>Length</i>)	=	96 in
Nt	=	196 buah
<i>Pressure Drop</i>	=	0,9394 Psi
Luas Transfer Panas	=	320,273 ft ²
UC	=	100.465,2 Btu/hr.ft ² .°F
UD	=	78,02 Btu/hr.ft ² .°F
RD <i>Calculated</i>	=	0,01 hr.ft ² .°F/Btu
Harga	=	\$ 72,226.43
<i>Surface area</i>	=	0,917 ft ² /ft
ΔP_{allow} , psi	=	1,8572 psi
Hairpin	=	7 buah
Panjang total	=	16 ft
Luas Transfer Panas	=	96 ft ²
RD <i>Calculated</i>	=	16 hr.ft ² .°F/Btu
Harga	=	\$63,464.12

c. *Cooler 1*

Kode	=	CL-01
Fungsi	=	Menurunkan temperatur umpan dari 250°C menjadi 200°C dari <i>flash drum</i> menuju <i>extruder</i>
Jenis	=	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Fluida panas	=	<i>Light Organics</i>

Fluida dingin = *Cooling Water*

Kondisi Operasi

Fluida dingin

Suhu Masuk = 30°C

Suhu Keluar = 55°C

Fluida panas

Suhu Masuk = 250°C

Suhu Keluar = 200°C

Tekanan = 1 atm

Jumlah = 1 unit

Inner Pipe (Light Organics)

IPS = 2 in

ID = 2,067 in

OD = 2,38 in

Surface area = 0,622 ft²/ft

$\Delta P_{\text{allow, psi}}$ = 0,0057 psi

Annulus (Water)

IPS = 3 in

ID = 3,068 in

OD = 3,5 in

Surface area = 0,917 ft²/ft

$\Delta P_{\text{allow, psi}}$ = 0,0846 psi

Hairpin = 1 buah

Panjang total	=	40 ft
Luas Transfer Panas	=	32,670 ft ²
RD <i>Calculated</i>	=	0,0037 hr.ft ² .°F/Btu
Harga	=	\$68,471.16

d. Kondensor-01

Kode	=	CD-01
Fungsi	=	Mengembunkan uap hasil <i>flash drum</i>
Jenis	=	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Fluida panas	=	<i>Light Organics</i>
Fluida dingin	=	<i>Cooling Water</i>

Kondisi Operasi

Fluida dingin

Suhu Masuk	=	30°C
Suhu Keluar	=	55°C

Fluida panas

Suhu Masuk	=	250°C
Suhu Keluar	=	35°C
Tekanan	=	1 atm
Jumlah	=	1 unit

Inner Pipe (Light Organics)

IPS	=	2 in
ID	=	2,067 in

$$\begin{aligned}\text{OD} &= 2,38 \text{ in} \\ \text{Surface area} &= 0,622 \text{ ft}^2/\text{ft} \\ \Delta P_{\text{allow, psi}} &= 0,0008 \text{ psi}\end{aligned}$$

Annulus (Water)

$$\begin{aligned}\text{IPS} &= 3 \text{ in} \\ \text{ID} &= 3,068 \text{ in} \\ \text{OD} &= 3,5 \text{ in} \\ \text{Surface area} &= 0,917 \text{ ft}^2/\text{ft} \\ \Delta P_{\text{allow, psi}} &= 0,0001 \text{ psi} \\ \text{Hairpin} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Panjang total} &= 40 \text{ ft} \\ \text{Luas Transfer Panas} &= 0,349 \text{ ft}^2 \\ \text{RD Calculated} &= 0,7089 \text{ hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu} \\ \text{Harga} &= \$1,627.29\end{aligned}$$

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

$$\begin{aligned}\text{Basis perhitungan neraca massa} &= 90.000 \text{ ton/tahun} \\ \text{Lama produksi dalam 1 tahun} &= 330 \text{ hari kerja} \\ \text{Lama 1 hari kerja} &= 24 \text{ jam}\end{aligned}$$

Basis perhitungan

$$= \frac{90.000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 11363,6364 \text{ kg/jam}$$

Tabel 3. 5 Neraca Massa Total

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
C ₈ H ₈	11.130,3939	245,3372
TBC	0,1670	0,0000
C ₈ H ₁₀	9.171,1649	9.176,8464
C ₆ H ₆	186,2544	186,2544
C ₈ H ₈ -n	0,0000	1.0924,7974
C ₁₀ H ₁₄ O ₄	45,2552	0,0000
Total	20.533,2353	20.533,2353

3.4.2 Neraca Massa Alat

a. Neraca Massa *Mixer* (M-01)

Tabel 3. 6 Neraca Massa *Mixer*

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar kg/jam
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
C ₈ H ₈	11.130,394	0,0000	11.130,5608
TBC	0,167	0,0000	0,0000
C ₈ H ₁₀	44,7010	9.126,464	9.171,1649
C ₆ H ₆	0,0000	186,254	186,2544
Total	20.487,9801		20.487,9801

b. Neraca Massa Reaktor (R-01)

Tabel 3. 7 Neraca Massa Reaktor (R-01)

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	Arus 3	Arus 4	Arus 5
C ₈ H ₈	11.130,5608	0,0000	222,6112
C ₈ H ₁₀	9.171,1649	0,0000	9.171,165
C ₆ H ₆	186,2544	0,0000	186,254
C ₈ H ₈ -n	0,0000	0,0000	10953,204
C ₁₄ H ₁₀ O ₄	0,0000	45,2552	0,0000
Total	20.533,2353		20.533,2353

c. Neraca Massa *Flash Drum* (FD-01)

Tabel 3. 8 Neraca Massa *Flash Drum* (FD-01)

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 6	Arus 7
C ₈ H ₈	222,6112	232,422	12,915
C ₈ H ₁₀	9.171,1649	8.750,922	425,924
C ₆ H ₆	186,254	186,254	0,0000
C ₈ H ₈ -n	10.953,2048	0,0000	10.924,797
C ₁₄ H ₁₀ O ₄	0,0000	0,0000	0,0000
Total	20.346,981	20.346,981	

d. Neraca Massa *Extruder* (EX-01)

Tabel 3. 9 Neraca Massa *Extruder* (EX-01)

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
	Arus 8	Arus 9
C ₈ H ₈	12,915	12,915
C ₈ H ₁₀	425,924	425,924
C ₆ H ₆	0,0000	0,0000
C ₈ H ₈ -n	10.924,797	10.924,797
C ₁₄ H ₁₀ O ₄	0,0000	0,0000

Total	1.1363,6364	1.1363,6364
--------------	--------------------	--------------------

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Total

Tabel 3. 10 Neraca Panas Total

Alat	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Reaktor-01	1.399.809,53	1.399.809,53
<i>Flash Drum</i>	30.176,512	30.176,512
<i>Extruder</i>	26.534,314	26.534,314
<i>Heater-01</i>	4.005.309,80	4.005.309,80
<i>Heater-02</i>	4.347.451,27	4.347.451,27
<i>Cooler-01</i>	9.568.401,84	9.568.401,84
Total	19.377.683,27	19.377.683,27

3.5.2 Neraca Panas Komponen

a. Reaktor-01

Tabel 3. 11 Neraca Panas Reaktor-01

Komponen	Masuk ΔH in (kJ/ jam)	Keluar ΔH out (kJ/ jam)
C ₈ H ₈	2,327	0,047
C ₈ H ₁₀	1,872	1,872
C ₆ H ₆	0,187	0,187
(C ₈ H ₈) _n	0,0000	2,099
C ₁₄ H ₁₀ O ₄	0,005	0,0000
ΔH Reaksi	1.399.805,14	
Sub Total	1.399.809,53	4,203
Q Pendingin		1.399.805,33
Total	1.399.809,53	1.399.809,53

b. *Flash Drum*

Tabel 3. 12 Neraca Panas *Flash Drum*

Komponen	Masuk (kJ/ jam)	Keluar (kJ/ jam)
Fase cair	29.385,378	29.385,378

Fase gas	791,134	791,134
Total	30.176,512	30.176,512

c. *Extruder*

Tabel 3. 13 Neraca Panas *Extruder*

Komponen	Masuk (kJ/ jam)	Keluar (kJ/ jam)
Fase padat	26.534,314	26.534,314
Total	26.534,314	26.534,314

d. *Heater-01*

Tabel 3. 14 Neraca Panas *Heater-01*

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q input	181.537,60	0.00
Q output	0.00	4.005.309,80
Q pemanas	3.823.772,20	0,00
Total	4.005.309,80	4.005.309,80

e. *Heater-02*

Tabel 3. 15 Neraca Panas *Heater-02*

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q input	1.861.339,17	0.00
Q output	0.00	4.347.451,27
Q pemanas	2.486.112,11	0,00
Total	4.347.451,27	4.347.451,27

f. *Cooler-01*

Tabel 3. 16 Neraca Panas *Cooler-01*

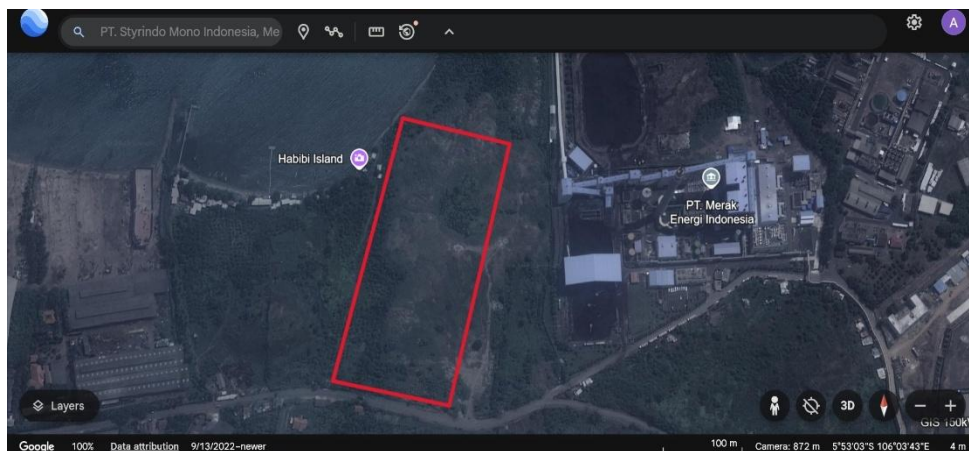
Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q input	9.568.401,84	0
Q output	0	7.161.472,30
Q pemanas	0	2.406.929,54
Total	9.568.401,84	9.568.401,84

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan dan penempatan lokasi pabrik yang tepat dalam tahap perencanaan sangat berpengaruh terhadap perkembangan dan kelangsungan suatu industri. Hal ini berkaitan erat dengan efisiensi penggunaan faktor produksi, potensi keuntungan yang dapat diperoleh, serta peluang ekspansi di masa mendatang. Oleh karena itu, lokasi pabrik sebaiknya ditentukan berdasarkan perhitungan yang meminimalkan biaya produksi dan distribusi, serta mempertimbangkan aspek sosial dan respons masyarakat sekitar (Peters, 2004). Terdapat sejumlah faktor penting yang harus dianalisis untuk menentukan lokasi pabrik yang ideal karena keputusan ini memberikan dampak signifikan baik secara teknis maupun ekonomis. Dengan mempertimbangkan berbagai aspek tersebut, pabrik Polistirena direncanakan akan dibangun di wilayah Serang, Banten.



Gambar 4. 1 Lokasi Pabrik Polistirena

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik Polistirena sebagai berikut:

4.1.1 Pemasaran

Strategi pemasaran yang efektif akan memberikan keuntungan sekaligus menjamin keberlanjutan proyek. Selain itu, pemasaran diharapkan mampu mendukung pemenuhan kebutuhan dalam negeri, khususnya di Indonesia. Kota Serang dikenal sebagai pusat industri kimia berskala besar yang terus mengalami pertumbuhan pesat, sehingga menjadi pasar potensial bagi produk Polistirena. Distribusi hasil produksi dapat dilakukan melalui transportasi darat. Produk Polistirena tersebut nantinya bisa dipasarkan ke berbagai industri plastik yang beroperasi di wilayah Serang, Banten.

4.1.2 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan komponen utama dalam pembangunan sebuah pabrik. Lokasi pabrik yang berada cukup dekat dengan Styrimdo Mono Indonesia (SMI) menunjukkan bahwa ketersediaan bahan baku di wilayah tersebut cukup melimpah. Idealnya, pabrik didirikan di lokasi yang berdekatan dengan sumber bahan baku untuk mempermudah proses pengadaan serta mengurangi biaya dan waktu transportasi. Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan terkait bahan baku meliputi:

- a. Jarak bahan baku dengan pabrik.

- b. Kapasitas dari bahan baku yang ada di sumber.
- c. Penanganan dari bahan baku.
- d. Kemungkinan memperoleh bahan baku dari sumber yang lain.

4.1.3 Kondisi Iklim

Iklim di Indonesia tergolong stabil dengan suhu rata-rata berkisar antara 30 hingga 40°C. Pada paruh pertama tahun, umumnya terjadi musim kemarau, sedangkan pada paruh kedua berlangsung musim penghujan. Risiko terjadinya gempa bumi di kawasan industri ini relatif rendah, mengingat lokasinya yang tidak berada di jalur cincin api (ring of fire) maupun dekat gunung berapi. Hal ini menjadikan area tersebut cukup aman, sehingga operasional pabrik dapat berjalan dengan lancar. Beberapa faktor penting terkait kondisi iklim yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Keadaan lingkungan alam yang sulit akan menambah biaya konstruksi pembangunan pabrik.
- b. Kecepatan dan arah angin.
- c. Kemungkinan terjadinya gempa bumi.
- d. Pengaruh alam sekitar terhadap perluasan pada masa yang mendatang.

4.1.4 Utilitas

Air bersih yang dibutuhkan untuk operasional industri dapat diperoleh dari perairan laut di sekitar lokasi pabrik. Sumber ini dimanfaatkan untuk menunjang kebutuhan proses industri serta

menjaga agar peralatan produksi tetap berfungsi secara optimal. Memilih lokasi pabrik yang memiliki ketersediaan air laut yang cukup sangat krusial bagi kelangsungan operasional perusahaan. Selain itu, aspek pengolahan dan pengendalian limbah industri juga merupakan faktor penting yang harus diperhitungkan dalam tahap perencanaan dan pembangunan pabrik.

4.1.5 Sumber Listrik

Dalam pembangunan sebuah pabrik, ketersediaan tenaga listrik dan bahan bakar merupakan elemen pendukung yang sangat vital. Beberapa aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam penyediaan energi dan bahan bakar untuk operasional pabrik antara lain adalah:

- a. Kemungkinan dan pengadaan tenaga listrik dan bahan bakar di lokasi pabrik untuk sekarang dan masa yang akan datang.
- b. Harga bahan bakar yang akan digunakan.

4.1.6 Transportasi

Fasilitas transportasi, seperti untuk pengangkutan bahan, kegiatan perawatan, serta keperluan keselamatan kerja, sangat penting dalam perancangan pabrik. Oleh karena itu, jalan yang memadai perlu disediakan di antara area proses untuk mempermudah akses kendaraan keluar-masuk. Hal ini juga penting agar penanganan keadaan darurat dapat dilakukan dengan cepat dan efisien. Aspek transportasi perlu direncanakan dengan baik guna memastikan kelancaran pasokan bahan

baku dan distribusi produk, dengan biaya operasional yang minimal dan waktu yang efisien. Beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Jalan raya yang dapat dilalui mobil dan angkutan darat lain.
- b. Sungai atau laut yang dapat dilalui perahu dan kapal.
- c. Pelabuhan laut dan lapangan udara yang dengan lokasi pabrik.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik adalah perencanaan yang mengatur penempatan fasilitas fisik dan tenaga kerja secara optimal guna mendukung proses produksi. Dalam merancang tata letak, penting untuk memastikan penempatan mesin dan peralatan produksi dapat menjamin keselamatan, keamanan, dan kenyamanan para pekerja. Selain peralatan utama yang terdapat dalam flow sheet proses, bangunan pendukung seperti kantor, gudang, laboratorium, dan bengkel juga harus ditempatkan secara efisien, terutama dengan mempertimbangkan arus barang, pengawasan, keamanan, serta aspek ekonomi. Penempatan peralatan produksi harus dirancang agar mendukung kelancaran dan kenyamanan selama proses berlangsung.

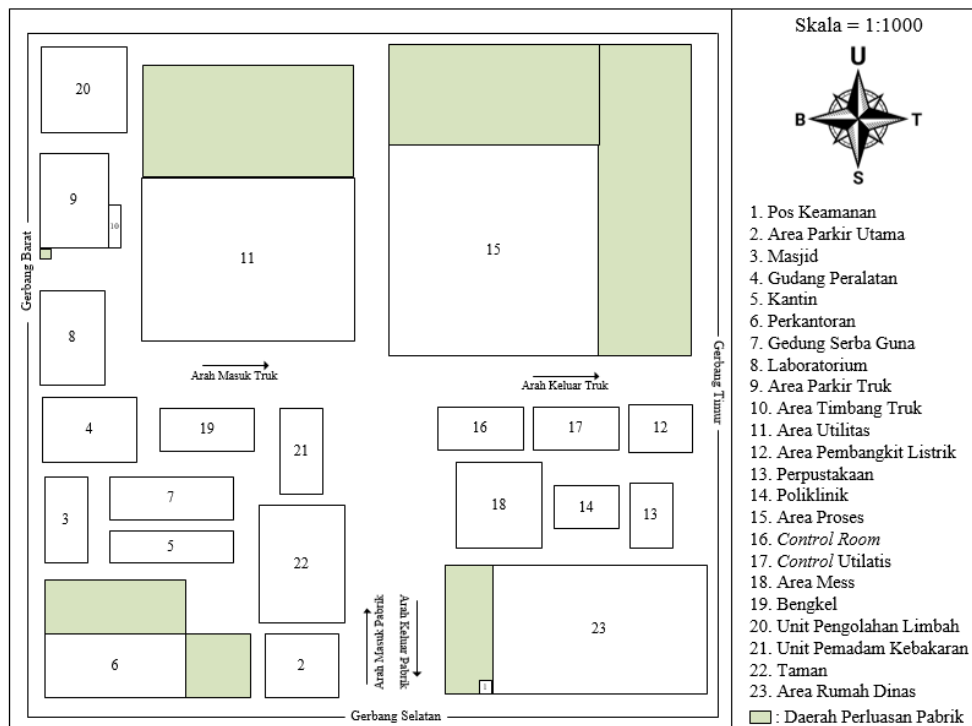
Perencanaan tata letak mencakup alokasi ruang untuk seluruh aktivitas pabrik, termasuk fasilitas seperti kantor, gudang, dan lainnya yang berkaitan langsung dengan proses produksi. Tata letak memegang peranan penting dalam menentukan besarnya biaya konstruksi, efisiensi operasional, serta keselamatan kerja. Oleh karena itu, perancangan tata letak pabrik perlu

dilakukan dengan perencanaan yang matang agar tidak menimbulkan hambatan di masa mendatang.

Tabel 4. 1 Luas Tanah dan Bangunan Pabrik

No	Area	Panjang	Lebar	Luas (m ²)
1	Pos Keamanan	3	3	9
2	Area Parkir Utama	17	15	255
3	Masjid	10	20	200
4	Gudang Peralatan	22	15	330
5	Kantin	29	8	217
6	Perkantoran	33	15	495
7	Gedung Serba Guna	29	10	290
8	Laboratorium	22	15	330
9	Area Parkir Truk	16	22	352
10	Area Timbang Truk	3	10	30
11	Area Utilitas	41	41	1.654
12	Area Pembangkit Listrik	15	11	165
13	Perpustakaan	10	15	150
14	Poliklinik	15	10	150
15	Area Proses	49	49	2.400
16	Control Room	20	10	200
17	Control Utilatis	20	10	200
18	Area Mess	20	20	400
19	Bengkel	22	10	220
20	Unit Pengolahan Limbah	20	20	400
21	Unit Pemadam	20	10	200

No	Area	Panjang	Lebar	Luas (m ²)
	Kebakaran			
22	Taman	20	27,5	550
23	Daerah Perluasan	100	50	5.000
24	Jalan	900	8	7.200
25	Area Rumah Dinas	50	30	1.500
Luas Total (m ²)				22.911,486
Luas Tanah (m ²)				27.494

Gambar 4. 2 *Layout* Pabrik Polistirena

4.3 Tata Letak Mesin atau Alat Proses

Dalam perancangan tata letak alat proses pada pabrik Polistirena ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan alat-alat proses, yaitu:

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaturan aliran bahan baku dan produk secara efisien dapat memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, sekaligus mendukung kelancaran serta keselamatan proses produksi. Selain itu, perhatian khusus perlu diberikan pada elevasi pipa: pipa yang berada di atas permukaan tanah sebaiknya dipasang pada ketinggian minimal tiga meter, sedangkan pipa yang diletakkan di permukaan tanah harus diatur sedemikian rupa agar tidak menghambat aktivitas kerja.

4.3.2 Aliran Udara

Penting untuk memastikan kelancaran aliran udara di dalam dan sekitar area proses. Keberadaan ventilasi dan sirkulasi udara yang memadai di area tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya udara yang terjebak, yang berpotensi menyebabkan penumpukan zat kimia berbahaya dan membahayakan keselamatan para pekerja.

4.3.3 Pencahayaan

Seluruh area pabrik harus memiliki pencahayaan yang cukup, dan pada lokasi-lokasi proses yang memiliki potensi bahaya atau risiko tinggi, perlu disediakan pencahayaan tambahan untuk meningkatkan keamanan.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Dalam merancang tata letak peralatan proses, penting untuk memastikan bahwa seluruh peralatan dapat diakses dengan mudah dan cepat oleh pekerja, sehingga gangguan yang terjadi dapat segera

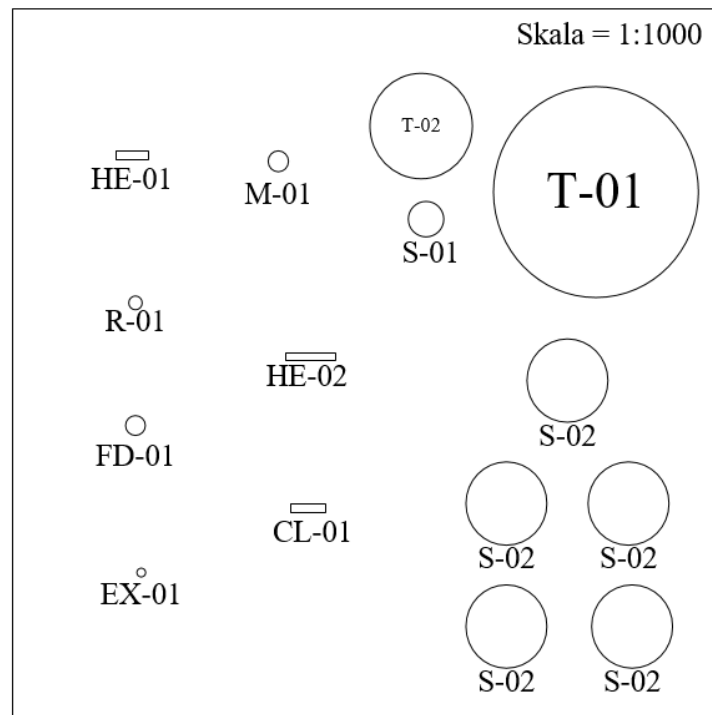
ditangani. Selain itu, aspek keselamatan pekerja saat menjalankan tugasnya harus menjadi prioritas utama.

4.3.5 Maintenance

Maintenance berperan penting dalam menjaga kondisi fasilitas dan peralatan pabrik melalui kegiatan pemeliharaan dan perbaikan, sehingga proses produksi dapat berlangsung secara optimal dan target produksi serta spesifikasi bahan baku yang diinginkan dapat tercapai. Perawatan preventif dilakukan setiap hari untuk mencegah kerusakan dan menjaga kebersihan area sekitar peralatan, sementara perawatan berkala dilakukan secara terjadwal sesuai panduan yang tercantum dalam buku manual.

4.3.6 Jarak Antara Alat Proses

Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan operasi yang tinggi, sebaiknya dipisahkan dari alat-alat proses lainnya. Sehingga apabila terjadinya ledakan atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat-alat proses lainnya.



Gambar 4. 3 Layout Alat Proses

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Organisasi

Pabrik Polistirena yang akan dibangun direncanakan berbentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT). PT merupakan suatu badan hukum yang dibentuk berdasarkan peraturan perundang-undangan dan terdiri dari kumpulan pemegang saham. Pemilihan bentuk usaha sebagai Perseroan Terbatas didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

- a. Pengumpulan modal menjadi lebih mudah, baik melalui penjualan saham perusahaan maupun melalui pinjaman dari bank.

- b. Proses produksi dapat berjalan lancar karena sepenuhnya berada di bawah kendali manajemen, mengingat tanggung jawab pemegang saham terbatas.
- c. Terdapat pemisahan yang jelas antara pemilik dan pengelola perusahaan: pemegang saham bertindak sebagai pemilik, sementara operasional dijalankan oleh direksi dan staf, dengan pengawasan dari dewan komisaris. Struktur ini menjamin keberlangsungan perusahaan meskipun terjadi pergantian pemegang saham, direksi, atau karyawan.
- d. Manajemen dapat berjalan lebih efisien karena pemegang saham memiliki kewenangan untuk menunjuk dewan komisaris dan direktur utama yang kompeten dan berpengalaman di bidangnya.
- e. Skala usaha dapat diperluas karena perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas mampu menarik investasi besar dari masyarakat, sehingga memungkinkan peningkatan modal untuk pengembangan bisnis.
- f. Keberlangsungan perusahaan lebih terjaga karena kepemilikannya tidak bergantung pada individu tertentu, sehingga tetap dapat beroperasi meskipun terjadi pergantian pemilik.

4.4.2 Struktur Organisasi

Dalam menjalankan sebuah perusahaan, dibutuhkan sumber daya manusia yang kompeten serta sistem manajemen atau organisasi yang

memiliki pembagian tugas dan wewenang yang terstruktur dengan baik. Struktur organisasi dapat disesuaikan dengan bentuk serta kebutuhan masing-masing perusahaan. Organisasi yang tertata dengan baik merupakan hasil dari manajemen yang efektif. Struktur organisasi berfungsi untuk mengatur dan membagi bagian-bagian, posisi, tugas, kedudukan, wewenang, serta tanggung jawab dari setiap divisi yang ada dalam perusahaan. Jabatan-jabatan dalam perusahaan akan disusun mulai dari tingkat tertinggi, dengan mengacu pada dua model struktur organisasi yang dianggap efektif, yaitu sistem garis (*line*) dan sistem staf (*staff*). Dalam sistem garis dan staf ini, terdapat dua kelompok utama yang berperan penting dalam menjalankan fungsi organisasi.

- a. Kelompok garis (*line*) terdiri dari individu-individu yang menjalankan fungsi utama organisasi untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan.
- b. Kelompok staf adalah orang-orang yang melaksanakan tugas berdasarkan keahlian khusus yang mereka miliki dan berperan memberikan saran atau dukungan kepada unit operasional.

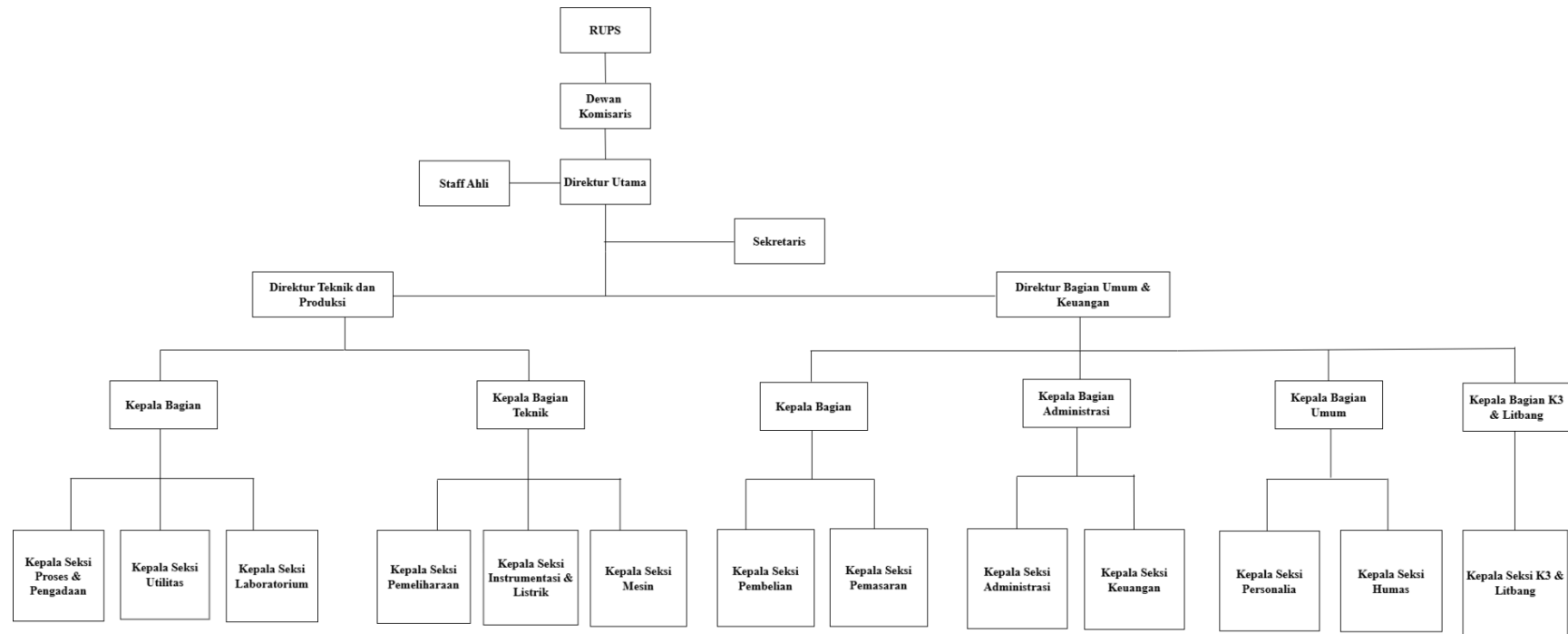
Pemegang saham sebagai pemilik perusahaan diwakili oleh Dewan Komisaris dalam pelaksanaan tugas sehari-hari. Sementara itu, operasional perusahaan dijalankan oleh Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi serta Direktur Administrasi, Keuangan, dan Umum. Direktur Produksi bertanggung jawab atas divisi produksi, proses, pengendalian, utilitas, dan pemeliharaan. Sedangkan Direktur

Administrasi, Keuangan, dan Umum memimpin divisi pembelian, pemasaran, administrasi dan keuangan, personalia, hubungan masyarakat, keamanan, serta penelitian dan pengembangan. Setiap direktur membawahi sejumlah kepala bagian yang bertanggung jawab atas pelaksanaan tugas bawahan mereka, sebagai bentuk pendelegasian wewenang dan tanggung jawab. Selanjutnya, setiap kepala bagian memimpin beberapa seksi, dan masing-masing seksi mengawasi sejumlah karyawan sesuai bidang kerjanya. Karyawan akan dikelompokkan ke dalam regu-regu kerja yang dipimpin oleh kepala regu, yang bertanggung jawab langsung kepada pengawas seksi masing-masing.

Untuk mendukung kelancaran proses produksi, diperlukan pembentukan tim staf ahli yang terdiri dari individu-individu dengan keahlian khusus di bidangnya masing-masing. Staf ahli ini akan memberikan masukan dan saran kepada para pengawas guna membantu pencapaian tujuan perusahaan. Struktur organisasi tersebut memberikan berbagai manfaat, antara lain:

- a. Menjelaskan batasan tugas, tanggung jawab, dan wewenang secara jelas.
- b. Menjadi bahan orientasi bagi pejabat atau karyawan baru.
- c. Memungkinkan penempatan pegawai secara lebih tepat sesuai kompetensinya.
- d. Membantu dalam perencanaan pengembangan manajemen.

- e. Memberikan dasar untuk evaluasi dan penyesuaian ulang terhadap langkah kerja dan prosedur apabila dinilai tidak berjalan optimal atau tidak sesuai ketentuan.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan Pabrik Polistirena

4.4.3 Tugas dan Wewenang

a. Pemegang Saham

Pemegang saham menempati posisi yang lebih tinggi daripada direktur umum. Mereka adalah sekelompok individu yang menyatukan modal untuk mendirikan dan menjalankan operasional perusahaan. Dalam struktur Perseroan Terbatas (PT), kekuasaan tertinggi berada pada Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Melalui RUPS, para pemegang saham memiliki wewenang untuk:

- 1) Meminta laporan pertanggungjawaban dari Dewan Komisaris
- 2) Mengangkat maupun memberhentikan anggota Dewan Komisaris dan Direktur, serta menyetujui pengunduran diri pemegang saham berdasarkan musyawarah
- 3) Mengesahkan laporan kerja perusahaan dan neraca laba rugi tahunan
- 4) Menentukan pembagian keuntungan tahunan, apakah akan dibagikan, disimpan, atau diinvestasikan kembali

b. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris ditunjuk oleh Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) sebagai perwakilan dari para pemegang saham, sehingga tanggung jawabnya pun langsung kepada mereka. Adapun tugas-tugas Dewan Komisaris meliputi:

- 1) Mengevaluasi dan menyetujui rencana yang diajukan oleh direksi terkait kebijakan umum, sasaran perusahaan, alokasi sumber daya, serta strategi pemasaran.
- 2) Mengawasi seluruh aktivitas operasional dan pelaksanaan tugas yang dilakukan oleh direktur.
- 3) Memberikan dukungan kepada Direktur Utama dalam hal-hal yang bersifat strategis atau penting.

c. Direktur Utama

Direktur Utama memegang jabatan tertinggi dalam struktur organisasi perusahaan dan bertanggung jawab penuh atas pencapaian tujuan perusahaan sebagaimana yang ditetapkan dalam Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Sebagai pemimpin utama, Direktur Utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris atas semua keputusan dan kebijakan yang diambil. Tugas-tugas utamanya antara lain:

Mengelola dan mengembangkan perusahaan secara efisien dan efektif.

- 1) Menyusun serta menerapkan kebijakan umum perusahaan sesuai arahan RUPS.
- 2) Mengajukan kerja sama dengan pihak luar guna mendukung kepentingan perusahaan.
- 3) Menjadi perwakilan perusahaan dalam menjalin hubungan atau membuat perjanjian dengan pihak ketiga.

- 4) Menyusun perencanaan serta mengawasi pelaksanaan tugas dari seluruh karyawan perusahaan.

Dalam pelaksanaan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh beberapa pejabat utama, yakni Sekretaris, Direktur Teknik dan Produksi, serta Direktur Keuangan dan Umum.

- 1) Sekretaris

Sekretaris diangkat oleh Direktur Utama untuk menangani korespondensi, pengelolaan arsip, serta mendukung tugas-tugas administratif perusahaan.

- 2) Direktur Teknik dan Produksi

Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama, Direktur Teknik dan Produksi memimpin seluruh kegiatan perusahaan yang berkaitan dengan produksi, operasional, teknik, pengembangan, pemeliharaan, pengadaan, serta laboratorium. Tugas ini dijalankan dengan bantuan dua kepala bagian:

- a) Kepala Bagian Produksi

Bertugas mengatur dan mengawasi semua aktivitas produksi, termasuk proses, pengendalian mutu, dan laboratorium. Dibantu oleh seksi proses & pengendalian, seksi utilitas, dan seksi laboratorium.

- b) Kepala Bagian Teknik

Bertanggung jawab atas kegiatan teknik dan pemeliharaan, dibantu oleh seksi pemeliharaan, seksi instrumentasi & listrik, serta seksi mesin.

3) Direktur Keuangan dan Umum

Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama, Direktur Keuangan dan Umum memimpin seluruh aktivitas administrasi, keuangan, personalia, pemasaran, hubungan masyarakat, keamanan, serta keselamatan kerja. Ia dibantu oleh empat kepala bagian:

a) Kepala Bagian Pemasaran

Mengatur dan mengawasi kegiatan pembelian bahan baku dan pemasaran produk, dibantu oleh seksi pembelian dan seksi pemasaran.

b) Kepala Bagian Administrasi dan Keuangan

Bertanggung jawab atas operasional administratif, pembukuan, serta penggajian. Dibantu oleh seksi administrasi dan seksi keuangan.

c) Kepala Bagian Umum

Menangani bidang personalia, humas, dan keamanan perusahaan. Dibantu oleh seksi personalia, seksi humas, dan seksi keamanan.

d) Kepala Bagian K3 dan Litbang

Mengelola kegiatan keselamatan kerja (K3) dan penelitian & pengembangan (Litbang). Dibantu oleh seksi K3 dan seksi Litbang.

e) Staf Ahli

Staf ahli berperan memberikan saran, pandangan, serta masukan terkait berbagai aspek operasional perusahaan, guna mendukung pengambilan keputusan strategis.

4.4.4 Pengaturan Jam Kerja

Pabrik polistirena yang menggunakan monomer stirena sebagai bahan baku direncanakan beroperasi secara terus-menerus selama 330 hari dalam setahun, dengan waktu kerja 24 jam setiap hari. Hari-hari yang tersisa, selain hari libur, akan dimanfaatkan untuk kegiatan pemeliharaan, perbaikan, atau penghentian sementara (*shut down*). Berdasarkan pengaturan waktu kerja, karyawan dibagi ke dalam dua kelompok kerja.

- a. Karyawan non-*shift* adalah karyawan yang bekerja selama lima hari dalam seminggu dengan total waktu kerja 40 jam per minggu. Hari Sabtu, Minggu, dan hari libur nasional ditetapkan sebagai hari libur bagi mereka. Kelompok karyawan ini tidak terlibat langsung dalam proses produksi. Yang termasuk dalam kategori non-*shift* antara lain Direktur Utama, Sekretaris, Direktur Teknik dan Produksi, Direktur Administrasi, Keuangan dan Umum, para

Kepala Bagian, serta staf administrasi yang bekerja di kantor.

Rincian jam kerja bagi karyawan non-shift diatur sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Jadwal Jam Kerja Karyawan Non-Shift

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin - Kamis	08.00 - 17.00	12.00 - 13.00
Jum'at	08.00 - 17.00	11.30 - 13.00

- b. Karyawan *shift* adalah karyawan yang terlibat langsung dalam proses produksi atau bertanggung jawab pada bagian-bagian tertentu yang berkaitan dengan keamanan serta kelancaran operasional produksi selama 24 jam penuh. Kelompok ini mencakup operator produksi, staf teknik, petugas gudang, dan personel lainnya yang harus selalu siaga demi menjamin keselamatan dan keamanan pabrik. Sistem kerja mereka dibagi ke dalam tiga shift dalam sehari, dengan pengaturan sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Jadwal Jam Kerja Karyawan Shift

Kelompok Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat
Shift 1	08.00 - 16.00	12.00 - 13.00
Shift 2	16.00 - 00.00	18.30 - 19.30
Shift 3	00.00 - 08.00	04.00 - 05.00

Sistem kerja karyawan *shift* dibagi ke dalam empat kelompok (A, B, C, dan D), di mana setiap harinya hanya tiga kelompok yang bekerja sementara satu kelompok lainnya mendapat giliran libur. Setiap kelompok menjalani siklus kerja selama enam hari dan mendapat dua hari libur setiap minggunya. Pada hari libur nasional atau hari besar yang ditetapkan pemerintah, kelompok

yang dijadwalkan bekerja tetap masuk dan akan mendapatkan kompensasi lembur serta tambahan insentif. Setiap *shift* dipimpin oleh seorang kepala shift. Jadwal kerja masing-masing kelompok diatur sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Jadwal Kerja Setiap Kelompok

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

Tabel 4. 8 Jadwal Kerja Setiap Kelompok (2)

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

Keterangan:

P = Shift Pagi (08.00 - 16.00)

S = Shift Sore (16.00 - 00.00)

M = Shift Malam (00.00 - 08.00)

L = Libur

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Gaji pokok karyawan ditentukan berdasarkan posisi jabatan, tingkat keahlian dan keterampilan, lama masa kerja, serta pencapaian kinerja masing-masing individu. Jumlah karyawan disesuaikan dengan kebutuhan agar pekerjaan dapat diselesaikan secara efisien dan optimal. Berikut ini adalah rincian jumlah tenaga kerja beserta sistem penggajiannya.

Tabel 4. 9 Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji	Gaji/Tahun
1	Direktur Utama	1	Rp40,000,000	Rp40,000,000	Rp480,000,000
2	Direktur Teknik dan Operasi	1	Rp30,000,000	Rp30,000,000	Rp360,000,000
3	Direktur Keuangan dan Pemasaran	1	Rp27,000,000	Rp27,000,000	Rp324,000,000
4	Direktur SDM dan Umum	1	Rp27,000,000	Rp27,000,000	Rp324,000,000
5	Kepala Bagian Produksi dan Utilitas	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
6	Kepala Bagian Listrik dan Instrumentasi	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
7	Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan, Pengendalian Mutu	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
8	Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
9	Kepala Bagian Administrasi	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
10	Kepala Bagian Humas dan Keamanan	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
11	Kepala Bagian K3 dan Lingkungan	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
12	Kepala Seksi Proses	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
13	Kepala Seksi Bahan Baku dan Produk	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
14	Kepala Seksi Utilitas	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
15	Kepala Seksi Pemeliharaan dan Bengkel	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
16	Kepala Seksi Listrik dan Instrument	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
17	Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
18	Kepala Seksi Laboratorium dan Pengembangan Mutu	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
19	Kepala Seksi Keuangan	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji	Gaji/Tahun
20	Kepala Seksi Pemasaran	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
21	Kepala Seksi Tata Usaha	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
22	Kepala Seksi Personalia	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
23	Kepala Seksi Hubungan Masyarakat	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
24	Kepala Seksi Keamanan	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
25	Kepala Seksi K3	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
26	Kepala Seksi Lingkungan	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
27	Karyawan Produksi	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
28	Karyawan Utilitas	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
29	Karyawan Bahan Baku dan Produk	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
30	Karyawan Listrik, Instrumentasi dan Pemeliharaan	6	Rp7,000,000	Rp42,000,000	Rp504,000,000
31	Karyawan Litbang	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
32	Karyawan K3 dan Pengolahan Limbah	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
33	Karyawan Kas/Anggaran	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
34	Karyawan Pemasaran/Penjualan	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
35	Karyawan Humas dan Keamanan	6	Rp7,000,000	Rp42,000,000	Rp504,000,000
36	Karyawan Administrasi	4	Rp7,000,000	Rp28,000,000	Rp336,000,000
37	Operator Produksi	29	Rp8,000,000	Rp232,000,000	Rp2,784,000,000
38	Operator Utilitas	17	Rp8,000,000	Rp136,000,000	Rp1,632,000,000
39	Sekretaris	4	Rp7,500,000	Rp30,000,000	Rp360,000,000
40	Dokter	2	Rp10,000,000	Rp20,000,000	Rp240,000,000
41	Perawat	4	Rp6,000,000	Rp24,000,000	Rp288,000,000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji	Gaji/Tahun
42	Supir	6	Rp5,800,000	Rp34,800,000	Rp417,600,000
43	Cleaning Service	6	Rp5,800,000	Rp34,800,000	Rp417,600,000
44	Security	6	Rp5,800,000	Rp34,800,000	Rp417,600,000
45	Kepala Seksi Pendataan Audit	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
46	Kepala Seksi Perencanaan Keuangan	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
47	Kepala Seksi Pengendalian Keuangan	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
48	Kepala Seksi Pengadaan Bahan Baku	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
49	Kepsi Seksi Pengadaan Bahan Pendukung	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
50	Kepala Seksi Akuntansi	1	Rp10,000,000	Rp10,000,000	Rp120,000,000
Total		150	Rp600,900,000	Rp1,328,400,000	Rp15,940,800,000

4.5.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

Perusahaan menyediakan berbagai fasilitas dan hak bagi karyawan guna mendukung kelancaran aktivitas kerja. Beberapa hak yang diberikan antara lain:

a. Hak Cuti

1) Cuti Tahunan

Setiap karyawan berhak atas cuti tahunan maksimal 12 hari dalam satu tahun. Jika cuti tersebut tidak digunakan dalam tahun berjalan, maka hak tersebut akan hangus dan tidak dapat dialihkan ke tahun berikutnya.

2) Cuti Massal

Setiap tahun, perusahaan memberikan cuti bersama kepada seluruh karyawan selama 4 hari kerja, biasanya bertepatan dengan perayaan Hari Raya Idul Fitri.

3) Cuti Melahirkan

Karyawan wanita yang akan melahirkan berhak mendapatkan cuti selama 3 bulan. Selama masa cuti tersebut, gaji tetap dibayarkan, dengan syarat jarak kelahiran antara anak pertama dan kedua minimal dua tahun.

b. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan non-shift, hari libur nasional merupakan hari libur kerja. Namun bagi karyawan *shift*, mereka tetap bekerja pada hari

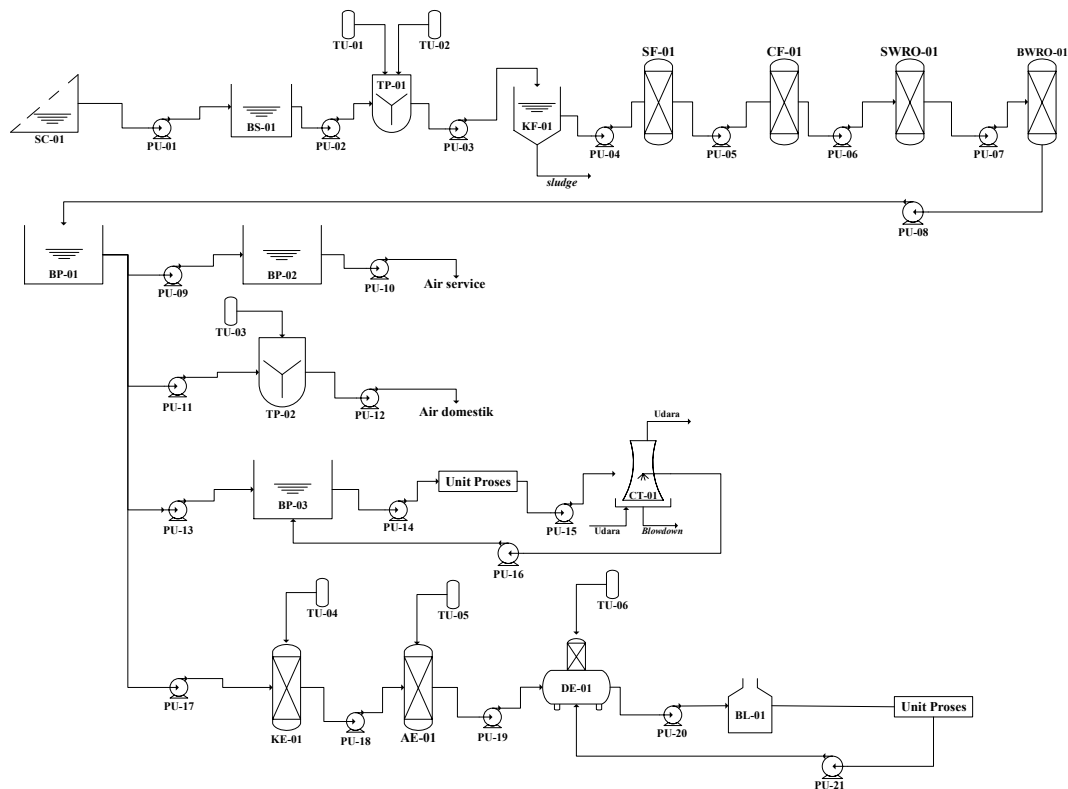
libur nasional, dan hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*) yang mendapatkan kompensasi tambahan.

BAB V

UTILITAS

Utilitas merupakan bagian yang penting untuk kelancaran jalannya proses produksi di industri kimia. Sarana penunjang adalah sara lain yang diperlukan bahan baku dan bahan pembantu agar proses produksi dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Proses produksi suatu pabrik industri kimia tidak akan berjalan dengan baik jika tidak ada unit utilitas didalamnya. Adapun unit utilitas yang diperlykan dalam perancangan pabrik. meliputi:

- a. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
- b. Unit Pembangkit Steam (*Steam Generation System*)
- c. Unit pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
- d. Unit Penyediaan Udara Tekan (*Intrument Air System*)
- e. Unit Penyediaan Bahan Bakar
- f. Unit Pengolahan Limbah



Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas

Keterangan Alat:

SC-01	=	Screener
BS-01	=	Bak Sedimentasi
TU-01	=	Tangki Penyimpanan Tawas Al_2SO_4
TU-02	=	Tangki Penyimpanan $\text{Ca}(\text{OH})_2$
TU-03	=	Tangki Penyimpanan $\text{Ca}(\text{ClO})_2$
TU-04	=	Tangki Penyimpanan H_2SO_4
TU-05	=	Tangki Penyimpanan NaOH
TU-06	=	Tangki Penyimpanan N_2H_4
TP-01	=	Tangki Penggumpal
TP-02	=	Tangki Klorinasi

KF-01	=	Klarifier
SF-01	=	<i>Sand Filter</i>
CF-01	=	<i>Carbon Filter</i>
SWRO-01	=	<i>Sea Water Reverse Osmosis</i>
BWRO-01	=	<i>Brackish Water Reverse Osmosis</i>
BP-01	=	Bak Penampungan Sementara
BP-02	=	Bak Penampungan Air <i>Service</i>
BP-03	=	Bak Penampungan Air Pendingin
CT-01	=	<i>Cooling Tower</i>
KE-01	=	<i>Kation Exchanger</i>
AE-01	=	<i>Anion Exchanger</i>
DE-01	=	Deaerator
BL-01	=	Boiler

5.1. Unit Penyedia dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyedia Air

Untuk memenuhi kebutuhan air suatu pabrik pada umumnya menggunakan air sumur, air sungai, air danau maupun air laut sebagai sumbernya. Dalam perancangan pabrik polistirena ini, sumber air yang digunakan berasal dari laut. Penggunaan air laut sebagai sumber air dengan beberapa pertimbangan. Air yang digunakan dalam perancangan pabrik polistirena bersumber dari Selat Sunda. Air laut akan digunakan untuk keperluan di lingkungan pabrik sebagai sumber

untuk mendapatkan air. Pertimbangan mengambil sumber air tersebut adalah:

- a. Air laut tersedia dalam jumlah sangat besar dan tidak terbatas, sehingga dapat menjamin kontinuitas suplai air untuk operasional pabrik.
- b. Pengambilan air laut dari wilayah Selat Sunda sudah sesuai dengan praktik umum industri di daerah pesisir Indonesia, terutama untuk industri skala besar.

Secara umum, kebutuhan yang diperlukan sebagai utilitas pabrik Polistirena digunakan untuk keperluan sebagai berikut:

- a. Air Domestik (*Domestic Water*)

Domestic water merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan seperti air minum, toilet, perumahan dan sebagainya. Air domestik yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti:

- 1) Air jernih
- 2) Tidak berasa
- 3) Tidak beracun
- 4) Tidak berbau
- 5) Tidak mengandung zat organik dan anorganik

Meskipun tidak terlibat langsung dalam proses produksi, air domestik tetap menjadi komponen penting dalam sistem utilitas, karena berkontribusi terhadap kesehatan, kebersihan, dan

kesejahteraan karyawan. Penyediaan air domestik yang memadai merupakan bagian dari pemenuhan standar keselamatan kerja dan lingkungan hidup, serta mendukung terciptanya lingkungan kerja yang produktif dan higienis.

Perhitungan kebutuhan air domestik dilakukan berdasarkan jumlah pekerja, fasilitas yang tersedia, serta standar konsumsi harian per orang. Rekapitulasi total kebutuhan air domestik disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan	Jumlah (kg/hari)
Air kantor	18.000
Air rumah tangga	18.200
Total	36.200
Total overdesign	1.810 (kg/jam)

Alat dalam air domestik memiliki kapasitas tertentu yang akan terisi air saat sistem berjalan. Tabel berikut menyajikan nama peralatan beserta jumlah air yang terkandung di dalamnya, sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan secara menyeluruh:

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Domestik

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
Bak Penampungan-02	1.810

b. Air Pendingin (*Cooling Water*)

Air pendingin merupakan air yang digunakan sebagai media pendingin pada proses produksi. Beberapa hal yang

menjadi pertimbangan digunakan air pendingin sebagai media pendingin. antara lain:

- 1) Air dapat diperoleh dengan mudah dan dalam jumlah besar.
- 2) Mudah dilakukan pengaturan dan pengolahan.
- 3) Memiliki daya serap terhadap panas per satuan volume yang cukup tinggi.
- 4) Tidak terdekomposisi

Namun, terdapat beberapa syarat kandungan zat yang tidak diperbolehkan ada dalam air pendingin. seperti:

- 1) Silika. karena dapat menyebabkan kerak.
- 2) Oksigen terlarut. karena dapat menyebabkan korosi.
- 3) Besi. karena dapat menyebabkan korosi.

Kebutuhan pendingin dihitung berdasarkan beban panas (*heat duty*) yang harus dihilangkan dari masing-masing unit proses. Besarnya beban panas ini ditentukan dari hasil perhitungan perpindahan panas pada setiap alat yang terhubung dengan sistem pendingin. Setelah itu, kebutuhan aliran air pendingin (*cooling water flow rate*) dapat dihitung menggunakan neraca energi, dengan mempertimbangkan kapasitas panas spesifik air dan perubahan suhu yang ada pada sistem pendingin.

Selain kebutuhan utama untuk penyerapan panas, sistem pendingin juga memperhitungkan kebutuhan *make-up water* yang menggantikan kehilangan air akibat penguapan (*evaporation*),

blowdown, dan *drift loss*. Oleh karena itu, total kebutuhan pendingin tidak hanya mencakup laju alir air yang bersirkulasi, tetapi juga kebutuhan tambahan untuk menjaga keseimbangan sistem.

Ringkasan total kebutuhan pendingin yang mencakup kebutuhan air pendingin dalam proses dan air make-up yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Pendingin

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Total air pendingin	13.813.470,77
<i>Air make-up</i>	469.658,006

Informasi ini menjadi dasar penting dalam menentukan kapasitas pompa, desain pipa, serta *cooling tower* yang digunakan, sehingga sistem pendingin dapat bekerja secara efisien dan andal dalam mendukung operasi pabrik.

Selain menghitung kebutuhan aliran air pendingin yang bersirkulasi dalam sistem, penting juga untuk mengetahui volume air yang secara fisik terkandung atau tertampung di dalam peralatan pada unit pendingin. Informasi ini diperlukan untuk berbagai keperluan teknis, seperti pengisian awal sistem (*initial charging*), perawatan, perhitungan kapasitas tangki cadangan, serta perencanaan saat shutdown atau draining sistem.

Setiap alat dalam sistem pendingin memiliki kapasitas volume internal tertentu yang akan terisi air selama operasi

berlangsung. Jumlah air yang tertampung dalam masing-masing alat bervariasi dan berimbas pada desain dan kapasitas alat tersebut.

Tabel berikut menyajikan daftar peralatan utama dalam unit pendingin beserta jumlah air yang terkandung di dalam masing-masing alat:

Tabel 5. 4 Jumlah Air dalam Alat Unit Pendingin

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
Bak Penampung (BP-03)	13.813.470,77
<i>Cooling Tower</i> (CT-01)	13.813.470,77

c. Air Layanan Umum (*Service Water*)

Service water merupakan air yang digunakan untuk kebutuhan layanan umum atau karyawan seperti bengkel. klinik. laboratorium. masjid dan sebagainya. Perhitungan total kebutuhan *service water* dilakukan dengan mempertimbangkan frekuensi dan volume penggunaan di tiap aktivitas, termasuk alokasi cadangan untuk keadaan darurat seperti kebakaran. Hasil rekapitulasi kebutuhan ini disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5. 5 Kebutuhan Air Service

Kebutuhan	Jumlah
Bengkel	200 kg/hari
Poliklinik	300 kg/hari
Laboratorium	300 kg/hari
Pemadam kebakaran	4.000 kg/hari
Kantin, musholla, dan kebun	6.000 kg/hari

Kebutuhan	Jumlah
Total kebutuhan <i>air service</i>	10.800 kg/hari
	450 kg/jam
Kebutuhan <i>overdesign</i>	540 kg/jam

Setiap alat dalam air *service* memiliki kapasitas tertentu yang akan terisi air saat sistem berjalan. Tabel berikut menyajikan nama peralatan beserta jumlah air yang terkandung di dalamnya, sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan secara menyeluruh:

Tabel 5. 6 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
Bak Penampungan-02	540

d. Air Umpan *Boiler (Boiler Feed Water)*

Air umpan *boiler* merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan *steam* yang digunakan untuk menunjang kelangsungan proses produksi. Berikut merupakan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menangani air umpan *boiler* antara lain:

1) Zat yang menyebabkan korosi

Beberapa kandungan yang dapat menyebabkan korosi pada *boiler* adalah larutan asam dan gas-gas terlarut seperti CO₂, O₂, NH₃, H₂S dan SO₂.

2) Zat yang menyebabkan kerak.

Dapat menyebabkan kerak pada *boiler* adalah adanya kesadahan dan suhu tinggi yang biasanya berupa garam karbonat dan silika.

Kebutuhan air umpan boiler ditentukan berdasarkan kapasitas uap yang dibutuhkan oleh sistem. Air yang digunakan sebagai umpan harus memenuhi standar kualitas tertentu, seperti tingkat kemurnian dan kekerasan, agar tidak menimbulkan kerak atau korosi pada dinding boiler. Oleh karena itu, sebelum masuk ke dalam boiler, air umpan umumnya melalui tahap pengolahan seperti demineralisasi.

Selain air umpan, sistem boiler juga membutuhkan air tambahan untuk *blowdown*. *Blowdown* adalah proses pembuangan sebagian air dari boiler secara periodik untuk mengurangi akumulasi padatan terlarut di dalam sistem. Jika tidak dikendalikan, kadar TDS yang tinggi dapat menyebabkan pengendapan dan korosi, serta menurunkan efisiensi sistem boiler. Meskipun volume *blowdown* relatif kecil dibandingkan air umpan, kebutuhan ini tetap harus diperhitungkan dalam total kebutuhan air boiler. Perhitungan ini dirangkum secara jelas dalam tabel berikut:

Tabel 5. 7 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Air steam	2.715,213
Air <i>blowdown</i>	54,739

Setiap alat dalam umpan boiler memiliki kapasitas tertentu yang akan terisi air saat sistem berjalan. Tabel berikut menyajikan nama peralatan beserta jumlah air yang terkandung di dalamnya, sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan secara menyeluruh:

Tabel 5. 8 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
<i>Kation Exchanger-01</i>	54,739
<i>Anion Exchanger-01</i>	54,739
Deaerator-01	3.312,994

5.1.2. Unit Pengolahan Air

Air laut tidak dapat langsung digunakan. memerlukan beberapa pengolahan untuk dapat dipakai sebagaimana mestinya. Beberapa tahapan dalam pengolahan air yaitu:

a. Penghisapan

Tahap awal yang dilakukan adalah penghisapan. Pengambilan air dari laut dilakukan dengan penghisapan menggunakan pompa. Kemudian air akan dialirkan ke penyaring (*screener*). Bertujuan menghilangkan partikel kotoran yang berukuran cukup besar yang selanjutnya akan diproses pada bak penampung awal

b. Penyaringan (*Screening*)

Screening merupakan bagian dari proses memisahkan kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti daun, ranting, dan sampah lainnya tanpa menggunakan bahan kimia. Sementara kotoran-kotoran yang berukuran lebih kecil akan terikut dengan

aliran air kemudian dipisahkan pada tahap selanjutnya. Pada sisi hisap pompa perlu dipasang screener untuk meminimalisir alat penyaring pada proses selanjutnya menjadi kotor dan cepat rusak.

c. Bak Sedimentasi

Selanjutnya, air akan melalui proses sedimentasi. Sedimentasi merupakan proses pemisahan kotoran dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Pada proses ini, kotoran-kotoran kecil yang tidak tersaring pada proses penyaringan sebelumnya seperti lumpur dan pasir akan mengendap pada bagian bawah bak karena gaya gravitasi.

d. Penggumpalan

Koagulasi merupakan proses penggumpalan partikel koloid akibat penambahan bahan koagulan atau zat kimia sehingga partikel-partikel tersebut bersifat netral dan membentuk endapan karena gravitasi. Koagulan yang digunakan adalah tawas atau Aluminium Sulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, yang merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah, sehingga dalam air yang mempunyai suasana basa akan mudah terhidrolisa. Untuk memperoleh sifat alkalis agar proses *flokulasi* dapat berjalan efektif, perlu ditambahkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan kesadahan karbonat dalam air untuk membuat suasana basa sehingga mempermudah penggumpalan. Sedangkan proses *flokulasi* bertujuan untuk

menggumpalkan partikel-partikel tersebut menjadi *flok* dengan ukuran yang memungkinkan untuk dipisahkan dengan sedimentasi dan *Filtrasi*.

e. Pengendapan

Selanjutnya, air yang telah menggumpal dan membentuk flok-flok akan mengalami proses flokulasi. Flokulasi adalah proses penggabungan flok-flok yang telah terbentuk pada proses koagulasi menjadi partikel yang lebih besar sehingga lebih mudah untuk mengendap. Agar proses flokulasi dapat berjalan efektif, dapat ditambahkan kapur yang berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan kesadahan karbonat dalam air dan membuat suasana basa sehingga mempermudah penggumpalan. Selain itu, dapat ditambahkan juga (NaOH) sebagai alkali untuk menjaga pH sehingga pH pada outlet dijaga berkisar antara 6,5 – 7,5.

f. *Sand Filter*

Air dari bak pengendap yang masih mengandung padatan tersuspensi selanjutnya memasuki alat *sand filter* untuk difiltrasi. *Filtrasi* ini bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung di dalam air. Seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , dan lain-lain dengan menggunakan resin. *Sand Filter* dicuci (*back wash. rinse*) bila sudah dianggap kotor.

g. *Carbon Filter*

Carbon filter adalah alat penyaring yang menggunakan karbon aktif sebagai media filtrasi utama untuk menghilangkan kontaminan dan zat berbahaya dalam air, udara, atau cairan lainnya. Karbon aktif memiliki permukaan yang sangat porus, sehingga mampu menyerap berbagai senyawa kimia, bau, warna, dan zat organik yang dapat menyebabkan pencemaran atau rasa tidak sedap. Proses carbon filter bekerja dengan cara mengalirkan air atau udara melalui media karbon aktif yang memiliki permukaan sangat porus dan luas, sehingga mampu menyerap berbagai zat pencemar. Saat air atau udara melewati karbon aktif, senyawa kimia seperti klorin, bau, warna, bahan organik, dan beberapa logam berat akan menempel (teradsorpsi) pada permukaan karbon. Selain itu, karbon aktif juga dapat mengurangi mikroorganisme tertentu dan partikel halus, sehingga membantu meningkatkan kualitas dan rasa air atau udara yang keluar. Proses ini biasanya dilakukan setelah tahap penyaringan awal untuk memastikan hasil filtrasi yang lebih bersih dan aman.

h. SWRO (*Sea Water Reverse Osmosis*)

SWRO (*Seawater Reverse Osmosis*) adalah teknologi desalinasi yang menggunakan membran semi-permeabel untuk menyaring air laut dan menghilangkan garam serta zat terlarut lainnya. Proses ini memerlukan tekanan tinggi agar air laut dapat melewati membran, sehingga yang keluar adalah air tawar bersih,

sedangkan garam dan mineral tertahan dan dibuang sebagai limbah. Proses dimulai dengan pengambilan air laut yang kemudian disaring untuk menghilangkan partikel besar dan kotoran kasar melalui pretreatment. Setelah itu, air laut diberi tekanan tinggi menggunakan pompa khusus agar bisa melewati membran semi-permeabel dalam unit reverse osmosis. Membran ini hanya memungkinkan molekul air untuk lewat, sementara garam, mineral, dan kontaminan lainnya tertahan dan terpisah sebagai air limbah (brine). Air yang berhasil melewati membran kemudian dikumpulkan sebagai air tawar bersih yang siap digunakan. Seluruh proses ini membutuhkan kontrol tekanan dan kondisi operasi yang tepat agar efisiensi filtrasi maksimal dan membran tidak cepat rusak.

i. BWRO (*Brackish Water Reverse Osmosis*)

BWRO adalah teknologi *reverse osmosis* yang digunakan untuk mengolah sumber air dengan kadar garam menengah agar menjadi air bersih yang layak digunakan. Teknologi ini berfungsi untuk menghilangkan garam, mineral, logam berat, dan berbagai kontaminan lain, sehingga cocok diterapkan di wilayah yang memiliki sumber air dengan tingkat salinitas sedang namun kekurangan pasokan air bersih. Proses BWRO diawali dengan penyaringan awal untuk menghilangkan partikel besar, kemudian air dipompa dengan tekanan sedang hingga tinggi ke dalam

membran semi-permeabel. Membran ini hanya memungkinkan molekul air bersih melewati pori-porinya, sementara zat terlarut lainnya tertahan dan dibuang sebagai limbah (brine). Karena tingkat salinitas sumber air lebih rendah dibandingkan air laut, sistem BWRO memerlukan tekanan dan energi yang lebih rendah dibandingkan SWRO, menjadikannya solusi efisien untuk kebutuhan pengolahan air bersih.

j. Bak Penampungan Sementara

Air yang sudah melalui tahap *Filtrasi* bisa disebut sebagai air bersih dan ditampung dalam bak penampung air sementara. Air tersebut kemudian didistribusikan untuk keperluan:

- 1) Air domestik
- 2) Air *service water*
- 3) Air pendingin
- 4) Air *steam*

k. Klorinasi

Untuk dapat digunakan sebagai air minum pada perkantoran maupun perumahan, air bersih (*filtered water*) harus melalui tahap klorinasi. Klorinasi adalah proses penambahan klorin dalam bentuk kaporit pada air yang berfungsi untuk membunuh kuman, bakteri, jamur, dan mikroorganisme lain sehingga air layak untuk dikonsumsi dan digunakan. Selanjutnya,

air yang telah mengalami klorinasi akan ditampung di dalam tangki penyimpanan air bersih.

l. *Cooling Tower*

Cooling tower merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan air dingin yang dapat digunakan sebagai pendingin pada alat-alat proses. Proses yang terjadi pada *cooling tower* adalah pengolahan air panas menjadi air dingin menggunakan udara sebagai media pendinginnya. *Initial water* ke *cooling tower* berasal dari *filtered water storage tank* dengan suhu sekitar 38°C yang dialirkan ke atas *cooling tower* melalui distributor. Air akan mengalami evaporasi, sehingga air akan dialirkan ke bawah melalui lubang saluran (*swirl*). Bersamaan dengan proses ini, terjadi pelepasan panas laten, sehingga sebagian air akan menguap ke atmosfer. Untuk itu, dibutuhkan *make-up water* sebagai kompensasi terjadinya *evaporation loss*. *Make-up water* juga berasal dari *filtered water storage tank*. Air yang mengalami evaporasi di *cooling tower* akan sama jumlahnya dengan *flow make-up water* yang masuk, sehingga kesetimbangan perpindahan panas antara udara dan air akan tetap stabil. Suhu air yang telah melalui proses pendinginan akan turun menjadi 30°C. Air pendingin harus mempunyai sifat-sifat yang tidak korosif, tidak menimbulkan kerak, dan tidak mengandung mikroorganisme yang bisa menimbulkan lumut. Untuk mengatasi

hal tersebut, maka perlu ditambahkan bahan-bahan kimia seperti *corrosion inhibitor*, *scale inhibitor*, *non-oxidizing biocide*, *dispersant*, *pH control* dan *oxidizing biocide*.

m. *Demineralisasi*

Tujuan dari proses demineralisasi adalah menghilangkan ion-ion yang terkandung pada *filtered water* untuk umpan *boiler*. Proses demineralisasi ini terbagi menjadi 2, yaitu pelunakan air dan dealkalinasi. Proses pelunakan air terjadi pada kation *exchanger*. Di dalam kation *exchanger*, mineral-mineral sadah seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , dan mineral lainnya akan dibebaskan dari air bersih. Mineral ini akan ditangkap oleh suatu resin berjenis *hydrogen-zeolite*. Resin memiliki kapasitas untuk menangkap ion-ion ini. Suatu waktu resin tidak mampu lagi untuk menangkap mineral, maka akan disubjekkan ke dalam proses regenerasi resin. Regenerasi resin kation *exchanger* dilakukan dengan penambahan asam kuat H_2SO_4 .

Air keluaran dari kation *exchanger* adalah air bebas mineral yang tendensi untuk membentuk *scalling*-nya sudah diminimalkan. Air yang telah melewati kation *exchanger* akan disubjekkan ke dalam anion *exchanger* untuk dilakukan proses dealkalinasi. Proses ini bertujuan untuk menangkap ion-ion negatif seperti HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , dan lain-lain. Ion negatif ini harus ditangkap karena akan jika air bersifat basa ini

dipanaskan. akan berpotensi untuk membentuk gas CO_2 yang bisa menurunkan performa *boiler* dan alat proses lainnya. Proses penangkapan ion-ion memiliki mekanisme yang mirip pada proses pelunak air.

Perbedaan utama nya adalah jenis resin yang digunakan. Jenis resin yang digunakan *weakly basic anion exchanger*. Pada proses ini. saat resin sudah memenuhi kapasitasnya untuk menangkap ion. resin akan diregenerasikan dengan menambahkan basa kuat NaOH . Air keluaran dari *anion exchanger* ini sudah bisa digunakan sebagai air proses. Tetapi untuk penggunaan sebagai air umpan *boiler*. perlu dilakukan proses lebih lanjut.

n. Dearator

Air keluaran dari proses demineralisasi yang akan dijadikan umpan *boiler* akan disubjekkan ke proses dearasi untuk menghilangkan gas-gas terlarut dalam air. terutama gas O_2 yang berpotensi untuk menyebabkan korosi pada *boiler*. Korosi pada *boiler* memiliki konsekuensi yang sangat berbahaya. selain perpendekan umur *boiler*. Pengikisan di dalam *boiler* berpotensi menyebabkan peledakan dikarenakan ekspansi tekanan yang tidak sesuai dengan tekanan desain. Untuk menghilangkan gas-gas terlarut. senyawa N_2H_4 (hidrazin) ditambahkan untuk meningkatkan O_2 dan gas terlarut lainnya. Setelah dihilangkan

kandungan gas terlarut. maka air keluaran dearator dapat langsung diumpankan ke *boiler feed water*. kemudian diumpankan ke *boiler*. Di dalam *boiler* akan berlangsung proses pembangkitan air menjadi *steam*. Namun. untuk menjaga konsentrasi *suspended solid* yang terakumulasi di dalam *boiler*. dilakukan sistem *blowdown* pada periode tertentu sehingga menghilangkan sejumlah air. Untuk mengganti air yang hilang tersebut. ditambahkan *make up water* agar tetap memenuhi kebutuhan proses.

5.1.3 Total Kebutuhan Air

Berdasarkan uraian sebelumnya mengenai peralatan-peralatan yang memanfaatkan air dalam sistem utilitas, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan air di pabrik ini mencakup beberapa komponen utama, yaitu air pendingin (*cooling water*), air umpan boiler (*boiler feed water*), serta air untuk keperluan sanitasi dan domestik.

Setiap jenis kebutuhan memiliki karakteristik dan jumlah pemakaian yang berbeda, tergantung pada peralatan dan kondisi operasional yang dirancang. Air pendingin umumnya memiliki porsi terbesar karena digunakan dalam sistem sirkulasi untuk menjaga suhu proses tetap stabil. Air umpan boiler diperlukan untuk menghasilkan uap proses, sedangkan air untuk sanitasi digunakan untuk kebutuhan kebersihan fasilitas, seperti pencucian lantai dan peralatan. Selanjutnya, air domestik mencakup kebutuhan personal pekerja di lingkungan

pabrik, seperti air untuk toilet, kamar mandi, dapur, serta kebutuhan konsumsi di area kantor dan kantin.

Rekapitulasi total kebutuhan air untuk seluruh peralatan dan sistem dalam unit utilitas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 9 Total Kebutuhan Air

No.	Keperluan	Jumlah (kg/jam)
1.	<i>Cooling water</i>	13.813.470,77
2.	<i>Steam water</i>	3.258,256
3.	<i>Service water</i>	540
4.	<i>Domestic water</i>	1810
Total		13.819.079,021

Tabel tersebut merangkum volume air yang dibutuhkan per kategori penggunaan, sehingga mempermudah dalam estimasi kebutuhan pasokan air harian dan perencanaan sistem pengolahan air (*water treatment plant*) yang sesuai.

5.2. Unit Pembangkit *Steam*

Pada bagian unit penyediaan steam memiliki tujuan untuk mencukupi kebutuhan steam pada proses produksi, yaitu dengan menggunakan boiler dengan total kebutuhan steam 3.258,256 kg/jam. Pada boiler memanfaatkan suhu hingga 270°C kemudian diumpankan ke dalam boiler. Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (*burner*) bertugas untuk memanaskan tungku pembakaran dan lorong api. Residu pembakaran akan masuk ke economizer sebelum dibuang melewati cerobong asap. Spesifikasi alat boiler adalah sebagai berikut:

Kode = BL-01

Fungsi	=	Membuat <i>saturated steam</i>
Bahan	=	<i>Carbon Steel</i>
Kapasitas	=	11.135.811,7 kJ/jam
Luas Perpindahan Panas	=	38 m ²

Setiap alat dalam utilitas memiliki kapasitas tertentu yang akan terisi air saat sistem berjalan. Tabel berikut menyajikan nama peralatan beserta jumlah air yang terkandung di dalamnya, sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan secara menyeluruh:

Tabel 5. 10 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
Boiler-01	3.258,256

5.3. Unit Pembangkit Listrik

Unit Pembangkit Listrik bertugas menyediakan kebutuhan listrik untuk menggerakkan alat proses, alat utilitas, elektronik, penerangan, dan fasilitas lainnya di seluruh area pabrik. Sumber listrik utama yang digunakan pada pabrik fenol ini berasal dari PLN. Namun, pabrik ini juga dilengkapi dengan pembangkit listrik mandiri berupa sebuah generator. *Generator* berfungsi untuk menjadi sumber listrik cadangan apabila sumber listrik dari PLN mengalami gangguan atau pemadaman secara tiba-tiba. Adapun *generator* yang digunakan adalah jenis generator diesel dengan arus bolak-balik dengan kapasitas 167,596 kW.

Jenis ini dipilih dengan pertimbangan sebagai berikut.

- a. Tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar.

- b. Tegangan dapat dinaikan dan diturunkan sesuai kebutuhan.

Berikut merupakan rincian untuk kebutuhan listrik pabrik Polistirena sebagai berikut:

5.3.1. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5. 11 Kebutuhan Listrik Alat Proses

Jenis Alat	Hp	kW
Mixer	7,50	5,59
RATB	10,00	7,46
Extruder	13,27	9,89
Pompa	1,00	0,75
Pompa	0,50	0,37
Pompa	3,00	2,24
Pompa	1,00	0,75
Pompa	1,00	0,75
<i>Belt Conveyor</i>	1,50	1,12
<i>Belt Conveyor</i>	7,50	3,84
<i>Belt Elevator</i>	1,50	1,12
<i>Belt Elevator</i>	0,50	0,37
Total	48,27	34,24

5.3.2. Kebutuhan Listrik Utilitas

Tabel 5. 12 Kebutuhan Listrik Utilitas

Jenis Alat	Hp	kW
Klarifier	0,5	0,3728
Tangki Pencampuran	1	0,7457
<i>Cooling Tower</i>	7,5	5,5928
Pompa	1,5	1,1186
Pompa	1	0,7457
Pompa	1,5	1,1186
Pompa	1	0,7457
Pompa	1,5	1,1186
Pompa	1	0,7457
Pompa	1	0,7457
Pompa	0,5	0,3729
Pompa	0,125	0,0932
Pompa	0,125	0,0932
Pompa	0,05	0,0373
Pompa	0,33	0,2486
Pompa	0,75	0,5593
Pompa	2	1,4914
Pompa	2	1,4914
Pompa	0,75	0,5593
Pompa	0,05	0,0373
Pompa	0,05	0,0373
Pompa	0,05	0,0373
Pompa	0,05	0,0373
Pompa	0,05	0,0373
Total	24,383	18,183

Jumlah kebutuhan listrik untuk alat proses dan utilitas = 52,423 kW

Angka keamanan diambil 10% dari total kebutuhan listrik = 5,242 kW

Maka daya total = 57,665 kW

5.3.3. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

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

$$P = 14,416 \text{ kW}$$

5.3.4. Kebutuhan Listrik Penerangan

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

$$P = 8,649 \text{ kW}$$

5.3.5. Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor

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

$$P = 8,65 \text{ kW}$$

5.3.6. Kebutuhan Listrik Bengkel, Laboratorium, Tempat Ibadah, dan lain-lain.

Power yang dibutuhkan untuk bengkel, laboratorium, tempat ibadah, dan lain-lain diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 8,65 \text{ kW}$$

5.3.7. Kebutuhan Listrik Perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik = 1000 watt

Jumlah rumah = 35 unit

Kebutuhan listrik perumahan = 35.000 watt = 35 kW

Tabel 5. 13 Total Kebutuhan Listrik Pabrik

Keperluan	Kebutuhan (kW)
Power plant dan Utilitas	57,665
Alat Kontrol	14,416
Penerangan	8,65
Peralatan Kantor	8,65
Bengkel, Lab	8,65
Perumahan	35,000
Total	133,031

Kebutuhan listrik tersebut disuplai dari PLN (Perusahaan Listrik Negara). Namun, terdapat sebuah *generator* mandiri sebagai cadangan jika terjadi pemadaman listrik oleh PLN mendadak.

5.3.8. Generator Cadangan

a. Kapasitas Generator

Efisiensi generator = 80%

Kapasitas = total kebutuhan listrik/efisiensi

Kapasitas = 166.288 kW

b. Kebutuhan Bahan Bakar Generator

Sebagai bahan bakar digunakan IDO (*Industrial Diesel Oil*) yang digunakan dalam peralatan generator yang memiliki spesifikasi:

Heat value = 250.000 Btu/gal

Derajat API = 22-28 °API

Densitas = 0,9 kg/l

Viskositas = 1,2 cP

Kebutuhan bahan bakar =

$((\text{kapasitas}) \times (1 \text{ Btu/jam}/0,00029307 \text{ kW}))/\text{Heat Value}$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan bahan bakar} &= 2,27 \text{ gal/jam} \\ &= 8,591 \text{ l/jam}\end{aligned}$$

c. Dimensi Tangki Penyimpanan Bahan Bakar

Jenis = Silinder tegak

$$\begin{aligned}\text{Jumlah solar} &= 363,346 \text{ l/jam} \\ &= 0,363 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 8,72 \text{ m/hari}\end{aligned}$$

Waktu penyimpanan = 3 hari

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki (V)} &= \text{jumlah solar} \times \text{waktu penyimpanan} \\ &= 26,161 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dirancang oversize 20% dengan $D = H$, maka:

$$V = 31,393 \text{ m}^3$$

$$D = 3,42 \text{ m}$$

$$H = 3,42 \text{ m}$$

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Dalam pabrik Polistirena ini, dibutuhkan udara tekan untuk menggerakkan instrumen-instrumen *control* sebagai penggerak alat-alat kontrol di pabrik yang bekerja secara pneumatis. Tekanan udara instrumen yang digunakan adalah 7,2 bar. Terdapat 13 alat kontrol yang memerlukan udara tekan untuk menggerakkannya. Mekanisme atau proses untuk membuat udara tekan yaitu udara lingkungan ditekan menggunakan *compressor* yang dilengkapi *filter* (penyaring) udara hingga mencapai tekanan 7,2 bar.

selanjutnya udara tersebut dialirkan menuju alat kontrol dan alat proses yang membutuhkannya. Total kebutuhan udara instrumen diperkirakan sebesar 24,299 m³/jam. Udara yang digunakan harus dalam keadaan kering sehingga begitu keluar dari *blower*. Udara dilewatkan melalui sebuah tangki udara (bejana pengering) yang berisi *silica gel*.

5.5. Unit Pengolahan Limbah

Secara umum, limbah yang dihasilkan dari pabrik polistirena berupa limbah gas yang berasal dari senyawa kimia yang mudah menguap seperti benzene, stirena, dan etil benzena. Senyawa-senyawa ini termasuk dalam golongan VOCs (*Volatile Organic Compounds*) yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan jika dilepaskan ke udara tanpa pengolahan. Untuk mengatasi hal ini, limbah gas perlu melalui proses pengolahan sebelum dilepas ke lingkungan. Beberapa metode umum yang digunakan meliputi adsorpsi, pembakaran termal, oksidasi katalitik, kondensasi, dan *scrubbing* (pencucian gas) dimana metode pengolahan ini akan ditangani langsung oleh pihak ketiga. Tujuan dari proses-proses ini adalah untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan zat berbahaya dalam gas buang sehingga emisi yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan dan aman bagi masyarakat. Pemilihan metode pengolahan biasanya disesuaikan dengan karakteristik limbah gas, seperti jenis senyawa, konsentrasi, dan jumlah aliran gas.

Pada limbah utilitas, air sisa regenerasi pada proses demineralisasi pada unit utilitas dinetralkan dengan menambahkan asam sulfat (H₂SO₄) jika pH air buangan lebih dari 7,0. Namun jika pH buangannya kurang dari 7,0 maka

perlu ditambahkan NaOH. Air hasil dari proses penetralan kemudian dialirkan ke kolam penampungan akhir. Selain itu, ada limbah padat yang berasal dari proses pengolahan air (*water treatment system*) pada unit utilitas. Limbah padat tersebut berupa lumpur yang banyak mengandung padatan yang sering disebut *sludge*. Lumpur tersebut dapat diolah menjadi abu dengan kadar 0,3% melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengentalan atau pemekatan lumpur (*sludge thickening*)
2. Stabilisasi lumpur (*sludge stabilization*)
3. Pengeluaran air (*sludge dewatering*)
4. Pengeringan lumpur (*sludge drying*)

Pada limbah sanitasi, air buangan sanitasi yang berasal perkantoran, perumahan, toilet dan lain- lain pengolahannya tidak memerlukan penanganan khusus, yaitu dengan cara diolah pada unit stabilisasi menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan injeksi klorin.

5.6. Spesifikasi Alat Utilitas

5.6.1. Pompa Utilitas (PU)

Tabel 5. 14 Spesifikasi Pompa Utilitas

	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Fungsi	Mengalirkan air dari Laut yang melewati Screening (SC-01) ke Bak pendendapan I (BS-01)	Mengalirkan air dari Bak pendendapan I (BS-01) ke Tangki Penggumpal (TP-01)	Mengalirkan air dari Tangki Flokulator/ Penggumpal (TP-01) ke Klarifier (KF-01)	Mengalirkan air dari Klarifier (KF-01) ke <i>Sand Filter</i> (SF-01)
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>			

	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Bahan Kontruksi	<i>Comercial steel</i>			
Kapasitas (m ³ /jam)	1.619,1	1.619,1	1.619,1	1.538,1
Kecepatan aliran (ft/s)	346,445	346,445	346,445	329,123
ID (in)	2,9	2,9	2,9	2,9
OD (in)	3,5	3,5	3,5	3,5
IPS (in)	3	3	3	3
Flow area (in ²)	6,61	6,61	6,61	6,61
Efisiensi (hp)	0,31	0,31	0,31	0,29
Daya Pompa (watt)	775.111.278	602.574.067	933.896.970	470.707.447
Daya Motor (watt)	1.118,550	745,7	1.118,55	745,7
Kecepatan Putar (rpm)	34,581	41,77	30,7	7.481,99

Tabel 5. 15 Spesifikasi Pompa Utilitas (2)

	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
Fungsi	Mengalirkan air dari <i>Sand Filter</i> (SF-01) ke <i>Carbon</i>	Mengalirkan air dari <i>Carbon Filter</i> (CF-01)	Mengalirkan air dari SWRO-01 ke BWRO-01	Mengalirkan air dari BWRO-01 ke Bak

	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
	<i>Filter</i> (CF-01)	01) ke SWRO-01		Penampungan (BP-01)
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>			
Bahan Kontruksi	<i>Comercial steel</i>			
Kapasitas (m ³ /jam)	1.538,145	1.538,145	692,165	553,732
Kecepatan aliran (ft/s)	329,123	329,123	292,232	233,785
ID (in)	2,9	2,9	2,067	1,939
OD (in)	3,5	3,5	2,38	2,38
IPS (in)	3	3	2	2
Flow area (in ²)	6,61	6,61	3,35	3,35
Efisiensi (hp)	0,29	0,29	0,2	0,18
Daya Pompa (watt)	727.736.293	484.261.962	326.715.821	216.723.621
Daya Motor (watt)	1.118,55	745,7	745,7	372,85
Kecepatan Putar (rpm)	35,749	48,521	31,74	35,36

Tabel 5. 16 Spesifikasi Pompa Utilitas (3)

	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12
Fungsi	Mengalirkan air dari Bak Penampungan (BP-01) ke Bak Penampungan (BP-02)	Mengalirkan air dari Bak Penampungan (BP-02) ke Air Service	Mengalirkan air BP-01 ke TP-02	Mengalirkan air TP-02 ke air domestik
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>			
Bahan	<i>Cast Iron</i>			
Bahan Kontruksi	<i>Cast Iron</i>	<i>Comercial steel</i>	<i>Cast Iron</i>	
Kapasitas (m ³ /jam)	0,633	0,633	0,963	0,963
Kecepatan aliran (ft/s)	1,678	1,678	2,55	2,55
ID (in)	0,742	0,742	0,824	0,824
OD (in)	1,05	1,05	1,05	1,05
IPS (in)	0,75	0,75	0,75	0,75
Flow area (in ²)	0,534	0,534	0,534	0,534
Efisiensi (hp)	0,18	0,18	0,4	0,4
Daya Pompa (watt)	20,251	38,545	11,811	170,165
Daya Motor (watt)	93,213	93,213	37,285	248,567
Kecepatan Putar (rpm)	1.391,94	858,97	1.934,737	1.471,232

Tabel 5. 17 Spesifikasi Pompa Utilitas (4)

	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16	PU-17
Fungsi	Mengalirkan air BP-	Mengalirkan air BP-	Mengalirkan air dari	Mengalirkan air dari	Mengalirkan air BP-

	01 ke BP-03	03 ke unit proses	unit proses ke CT-01	CT-01 ke BP-03	01 ke KE-01
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>				
Bahan Kontruksi	<i>Cast Iron</i>	<i>Comercial steel</i>			<i>Cast Iron</i>
Kapasitas (m ³ /jam)	249,94	7.351,2	7.351,2	7.101,3	0.029
Kecepatan aliran (ft/s)	661,75	818,4	818,4	1.360,4	0,71
ID (in)	0,824	4,026	4,026	3,068	0,269
OD (in)	1,05	4,5	4,5	3,5	0,405
IPS (in)	0,75	4	4	3	0,125
Flow area (in ²)	0,534	12,7	12,7	7,38	0,058
Efisiensi (hp)	0,03	0,4	0,4	0,4	0,012
Daya Pompa (watt)	1.4E+10	7.3E+09	8.2E+09	4.9E+10	10,617
Daya Motor (watt)	559,275	1.491,4	1.491,4	559,275	37,285
Kecepatan Putar (rpm)	2,16	35,283	32,3	8,04	366,656

Tabel 5. 18 Spesifikasi Pompa Utilitas (5)

	PU-18	PU-19	PU-20	PU-21
Fungsi	Mengalirkan air dari KE-01 ke AE-01	Mengalirkan air dari AE-01 ke DE-01	Mengalirkan air dari DE-01 ke BL-01	Mengalirkan air dari unit proses ke

				DE-01 (recycle)
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>			
Bahan Kontruksi	<i>Cast Iron</i>		<i>Comercial steel</i>	
Kapasitas (m ³ /jam)	0,029	0,029	1,763	1,734
Kecepatan aliran (ft/s)	0,71	0,71	2,885	2,837
ID (in)	0,269	0,269	1,049	1,049
OD (in)	0,405	0,405	1,32	1,32
IPS (in)	0,125	0,125	1	1
Flow area (in ²)	0,058	0,058	0,864	0,864
Efisiensi (hp)	0,012	0,012	0,5	0,5
Daya Pompa (watt)	320,774	5,913	19,578	13,517
Daya Motor (watt)	37,285	37,285	37,285	37,285
Kecepatan Putar (rpm)	28,452	568,734	2.385,09	3.098,12

5.6.2 Bak Utilitas

Tabel 5. 19 Spesifikasi Bak Utilitas

Parameter	BS-01	BP-01	BP-02	BP-03
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air laut	Menampung sementara raw water setelah dari BWRO	Menampung Air bertekanan untuk keperluan layanan umum	Menampung air untuk kebutuhan proses pendingin dan hasil dari <i>cooling tower</i>
Jenis	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi
Bahan	Beton Bertulang	Beton Bertulang	Beton Bertulang	Beton Bertulang
Kapasitas (m ³ /jam)	1.381,474	472,023	0,54	9,205
Panjang (m)	32,126	10,425	1,09	8,094
Lebar (m)	32,126	10,425	1,09	8,094
Tinggi (m)	16,063	5,212	0,545	4,047

5.6.3 Tangki Utilitas (TU)

Tabel 5. 20 Spesifikasi Tangki Utilitas

Parameter	TU-01	TU-02	TU-03
Fungsi	Menyimpan larutan alum 5% untuk TP-01	Menyimpan larutan CaOH untuk TP-01	Menyimpan kaporit untuk TP-02
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder
Bahan	<i>Stainless Steel</i>		
Tinggi (m)	6,706	0,066	0,039
Diameter (m)	3,353	0,033	0,039
Volume (m ³)	59,182	0,0001	0,00005

Tabel 5. 21 Spesifikasi Tangki Utilitas (2)

Parameter	TU-04	TU-05	TU-06
Fungsi	Menyimpan H_2SO_4 untuk KE-01	Menyimpan NaOH untuk AE-01	Menyimpan larutan N_2H_4 untuk ke DE-01
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder
Bahan	<i>Stainless Steel</i>		
Tinggi (m)	1,885	0,951	2,181
Diameter (m)	1,885	0,951	2,181
Volume (m ³)	5,254	0,676	8,149

Tabel 5. 22 Spesifikasi Tangki Utilitas (3)

Parameter	TU-07	TU-08
Fungsi	Menyimpan <i>silica gel</i>	Menyimpan bahan bakar
Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder
Bahan	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
Tinggi (m)	0,347	3,42
Diameter (m)	0,231	3,42
Volume (m ³)	0,015	31,393

5.6.4 Screener

Kode = SC-01

Fungsi = Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar

Kapasitas = 1.380.300 kg/jam

Luas Penampang = 0,1304 m²

5.6.5 Tangki Pencampuran

Tabel 5. 23 Spesifikasi Tangki Pencampuran

Parameter	TP-01	TP-02
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan.	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk kebutuhan rumah tangga
Bahan	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
Kapasitas (m ³ /jam)	1380,3	1,81
Diameter (m)	12,826	1,404
Tinggi (m)	12,826	1,404
Jumlah <i>impeller</i>	1	1
Kecepatan putar (rpm)	84	155
Diameter <i>impeller</i> (m)	4,275	0,468
Power motor (hp)	0,5	1

5.6.6 Klarifier

Kode	=	KF-01
Fungsi	=	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran yang bersifat koloid yang terbawa oleh air dari bak pengendap awal
Jenis	=	Tangki silinder <i>conical bottom</i> berpengaduk
Diameter	=	21,932 m
Tinggi	=	21,932 m
Volume	=	8.281,803 m ³

5.6.7 *Sand Filter*

Kode	=	SF-01
Fungsi	=	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air laut
Volume	=	163,209 m ³
Diameter	=	10 ft
Tinggi	=	1,217 m
Ukuran Pasir	=	28 <i>mesh</i>

5.6.8 *Carbon Filter*

Kode	=	CF-01
Fungsi	=	Menyaring zat padat terlarut berukuran mikro di dalam air laut
Kapasitas	=	1.311,285 m ³ /jam
Diameter	=	10 ft
Luas Penampang	=	78,5 ft ²
Bahan isian	=	<i>Active Carbon</i>
Kebutuhan karbon	=	266.190,937 kg

5.6.9 *SWRO (Sea Water Reverse Osmosis)*

Kode	=	SWRO-01
Fungsi	=	Menghilangkan garam dan kontaminan dari air dengan salinitas tinggi menggunakan membran bertekanan tinggi
<i>Permiette (feed)</i>	=	45%

Konsentrat	=	55%
Jumlah membran	=	2 membran
Jumlah train	=	1 train

5.6.10 BWRO (*Brackish Water Reverse Osmosis*)

Kode	=	BWRO-01
Fungsi	=	Menyaring garam dan zat terlarut dari air dengan salinitas sedang menggunakan membran bertekanan menengah
<i>Permiette (feed)</i>	=	80%
Konsentrat	=	20%
Jumlah membran	=	2 membran
Jumlah train	=	1 train

5.6.11 *Cooling Tower*

Kode	=	CT-01
Fungsi	=	Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai pendingin
Bahan	=	<i>Counter flow induced draft cooling tower</i>
Diameter	=	1,698 m
Tinggi Packing	=	6,748 m
Daya Motor	=	7,5 hp

5.6.12 *Kation Exchanger*

Kode	=	KE-01
------	---	-------

Fungsi	=	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ion-ion positif (Na^+ , Ca^{2+} , Ba) yang ada dalam air
Tipe	=	Tangki silinder tegak
Volume	=	$0,424 \text{ m}^3$
Volume resin	=	$0,034 \text{ m}^3/\text{minggu}$
Luas Penampang	=	$0,04 \text{ ft}^2$
Diameter	=	$0,225 \text{ ft}$

5.6.13 Anion Exchanger

Kode	=	AE-01
Fungsi	=	Menghilangkan ion-ion negatif yang masih terbawa dari bak air bersih
Tipe	=	Tangki silinder tegak
Volume	=	$0,66 \text{ m}^3$
Volume resin	=	$0,034 \text{ m}^3/\text{minggu}$
Luas Penampang	=	$0,026 \text{ ft}^2$
Diameter	=	$0,18 \text{ ft}$

5.6.14 Deaerator

Kode	=	DE-01
Fungsi	=	Menghilangkan gas CO_2 dan O_2 yang terikat dalam <i>feed water</i>
Kapasitas	=	$3,313 \text{ m}^3/\text{jam}$

Tinggi = 1,616 m

Volume = 3,313 m³

Diameter = 1,616 m

5.6.15 Boiler

Kode = BL-01

Fungsi = Membuat *saturated steam*

Bahan = *Carbon Steel*

Kapasitas = 3.258,256 kg/jam

Luas Perpindahan Panas = 38 m²

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi merupakan aspek krusial dalam perencanaan pendirian suatu pabrik. Pabrik yang akan dibangun harus mampu memberikan keuntungan secara finansial agar kegiatan produksinya dapat berlangsung secara berkelanjutan. Melalui evaluasi ekonomi, dapat diperkirakan besarnya investasi awal yang diperlukan untuk membangun pabrik, serta menilai kelayakan proyek tersebut untuk direalisasikan. Salah satu komponen utama dalam perancangan pabrik adalah memperkirakan biaya peralatan yang dibutuhkan, karena harga peralatan ini menjadi dasar dalam analisis kelayakan ekonomi investasi. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan apakah investasi yang dilakukan dapat kembali dan mencapai titik impas. Dalam perancangan pabrik Polistirena ini, terdapat sejumlah faktor yang dipertimbangkan dalam perhitungan evaluasi ekonominya, antara lain:

- a. Modal (*Capital Investment*)
 - 1. Modal tetap (*Fixed Capital Cost*)
 - 2. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
- b. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)
 - 1. Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 - 2. Biaya produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 - 3. Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
- c. Pengeluaran Umum (*General Cost*)

d. Analisa Kelayakan Ekonomi

1. *Percent return on invesment* (ROI)
2. *Pay out time* (POT)
3. *Break event point* (BEP)
4. *Discounted cash flow* (DCF)

6.1 Penaksiran Harga Alat

Biaya peralatan proses untuk setiap unit sangat dipengaruhi oleh situasi ekonomi saat itu. Harga peralatan dapat berubah dari tahun ke tahun, baik mengalami kenaikan maupun penurunan, tergantung pada kondisi perekonomian. Oleh karena itu, menentukan harga peralatan secara langsung menjadi cukup menantang. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan indeks harga peralatan operasional pada tahun tertentu. Dalam analisis ini, estimasi harga peralatan dilakukan berdasarkan data tahun 2002, meskipun pembelian aktual akan dilakukan pada tahun 2029. Indeks harga yang digunakan dalam teknik kimia dikenal sebagai CEPCI atau *Chemical Engineering Plant Cost Index*.

Tabel 6. 1 Indeks harga alat pada tahun 1963 – 1987

Tahun	Indeks (Y₁)
1963	102,4
1964	103,3
1965	104,2
1966	107,2
1967	109,7
1968	113,7
1969	119
1970	125,7
1971	132,3
1972	137,2
1973	144,1
1974	165,4
1975	182,4
1976	192,1
1977	204,1
1978	218,8
1979	238,7
1980	261,2
1981	297
1982	314
1983	317
1984	322,7
1985	325,3
1986	318,4
1987	323,8
1988	342,5
1989	355,4
1990	357,6
1991	361,3
1992	358,2
1993	359,2
1994	368,1
1995	381,1
1996	381,7
1997	386,5
1998	389,5

Tahun	Indeks (Y ₁)
1999	390,6
2000	394,1

Dalam perencanaan pembangunan pabrik polistirena yang direncanakan pada tahun 2029, diperlukan estimasi indeks harga peralatan untuk tahun tersebut. Untuk memperkirakan biaya peralatan, terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan. Salah satunya adalah dengan menghitung harga peralatan pada tahun pendirian pabrik berdasarkan harga di tahun acuan, kemudian dikalikan dengan perbandingan indeks harga. Pendekatan ini mengacu pada metode yang dikemukakan oleh Aries dan Newton (1955).

$$Ex = Ey \frac{Nx}{Ny}$$

(Aries & Newton, 1955)

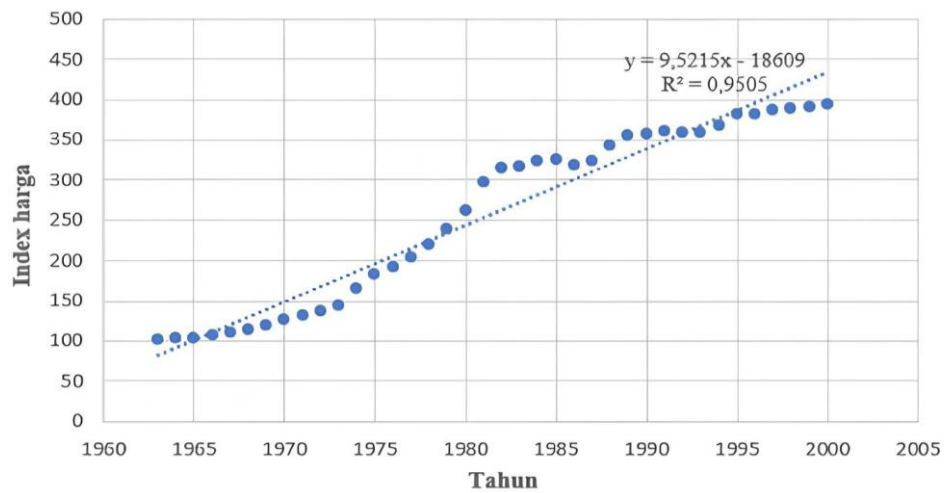
Keterangan:

Ex = Harga pembelian pada tahun 2029

Ey = Harga pembelian pada tahun referensi 2014

Nx = Indeks harga pada tahun 2029

Ny = Indeks harga pada tahun referensi 2014



Gambar 6. 1 Grafik Kenaikan Index Tiap Tahun

Dari grafik yang tersedia, diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y = 9,5215x - 18609$. Dengan memanfaatkan persamaan ini, nilai Indeks CEPCI dapat dihitung untuk tahun acuan maupun tahun perencanaan. Berdasarkan perhitungan, nilai CEPCI pada tahun referensi 2014 adalah sebesar 567,301. Sedangkan untuk tahun perencanaan 2029 nilainya mencapai 710,1235. Dengan menggunakan nilai-nilai CEPCI tersebut, dapat dilakukan estimasi terhadap biaya peralatan proses maupun peralatan utilitas sebagai berikut:

Tabel 6. 2 Harga Alat Proses

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Tangki Stirena	T-01	1	567,301	710,1235	\$ 5,902,900.00	\$ 7,389,001.62
Tangki Etil benzena	T-02	1	567,301	710,1235	\$ 1,797,100.00	\$ 2,249,534.10
Tangki Benzoil Peroksida	S-01	1	567,301	710,1235	\$ 29,400.00	\$ 36,801.68
Tangki Polistirena	S-02	5	567,301	710,1235	\$ 114,300.00	\$ 715,379.63
<i>Mixer</i>	M-01	1	567,301	710,1235	\$ 365,200.00	\$ 457,141.98
Reaktor Polimerisasi	R-01	1	567,301	710,1235	\$ 272,600	\$ 341,229.20
<i>Flash Drum</i>	FD-01	1	567,301	710,1235	\$ 2,209,800.00	\$ 2,766,134.57
<i>Extruder</i>	EX-01	1	567,301	710,1235	\$ 5,400.00	\$ 27,037.97
<i>Heat Exchanger</i>	HE-01	1	567,301	710,1235	\$ 57,700.00	\$ 72,226.43
	HE-02	1	567,301	710,1235	\$ 50,700.00	\$ 63,464.12
<i>Cooler</i>	CL-01	1	567,301	710,1235	\$ 54,700.00	\$ 68,471.16
Pompa	P-01	1	567,301	710,1235	\$ 12,800.00	\$ 16,022.50
	P-02	1	567,301	710,1235	\$ 6,700.00	\$ 8,386.78
	P-03	1	567,301	710,1235	\$ 23,000.00	\$ 28,790.43
	P-04	1	567,301	710,1235	\$ 15,200.00	\$ 19,026.72
	P-05	1	567,301	710,1235	\$ 15,200.00	\$ 16,022.50
<i>Belt Conveyor</i>	BC-01	1	567,301	710,1235	\$ 13,500.00	\$ 16,898.73
	BC-02	1	567,301	710,1235	\$ 13,500.00	\$ 16,898.73
<i>Belt Elevator</i>	BE-01	1	567,301	710,1235	\$ 6,900.00	\$ 8,637.13
	BE-02	1	567,301	710,1235	\$ 5,300.00	\$ 6,634.32
<i>Blower</i>	BLW-01	1	567,301	710,1235	\$ 6,600.00	\$ 8,261.60

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Total						\$ 11,632,460.85

Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
<i>Screening</i>	SC-01	1	567,301	710,1235	\$ 3,311.00	\$ 4,144.57
Bak Sedimentasi	BS-01	1	567,301	710,1235	\$ 210,800.00	\$ 263,870.56
Tangki Pencampuran	TP-01	1	567,301	710,1235	\$ 132,000.00	\$ 165,232.04
Klarifier	KF-01	1	567,301	710,1235	\$ 163,900.00	\$ 205,163.12
<i>Sand Filter</i>	SF-01	1	567,301	710,1235	\$ 40,500.00	\$ 50,696.19
<i>Carbon Filter</i>	CF-01	1	567,301	710,1235	\$ 120,600.00	\$ 150,962.00
<i>Seawater Reverse Osmosis</i>	SWRO-01	1	567,301	710,1235	\$ 131,100.00	\$ 164,105.46
<i>Brackish Water Reverse Osmosis</i>	BWRO-01	1	567,301	710,1235	\$ 222,000.00	\$ 277,890.25
Bak Penampungan	BP-01	1	567,301	710,1235	\$ 59,200.00	\$ 74,104.07
	BP-02	1	567,301	710,1235	\$ 32,200.00	\$ 40,306.60
Tangki Pencampuran	TP-02	1	567,301	710,1235	\$ 46,500.00	\$ 58,206.74
Bak Penampungan	BP-03	1	567,301	710,1235	\$ 224,200.00	\$ 280,644.12
<i>Cooling Tower</i>	CT-01	1	567,301	710,1235	\$ 5,900.00	\$ 7,385.37
<i>Kation Exchanger</i>	KE-01	1	567,301	710,1235	\$ 20,700.00	\$ 25,911.39
<i>Anion Exchanger</i>	AE-01	1	567,301	710,1235	\$ 20,700.00	\$ 25,911.39
Deaerator	DE-01	1	567,301	710,1235	\$ 67,400.00	\$ 84,368.48
Boiler	BL-01	1	567,301	710,1235	\$ 276,500.00	\$ 346,111.06

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Tangki Utilitas	TU-01	1	567,301	710,1235	\$ 28,200.00	\$ 35,299.57
	TU-02	1	567,301	710,1235	\$ 1,100.00	\$ 1,376.93
	TU-03	1	567,301	710,1235	\$ 46,500.00	\$ 58,206.74
	TU-04	1	567,301	710,1235	\$ 51,005.00	\$ 63,845.91
	TU-05	1	567,301	710,1235	\$ 32,700.00	\$ 40,932.48
	TU-06	1	567,301	710,1235	\$ 67,800.00	\$ 84,869.18
Pompa Utilitas	PU-01	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-02	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-03	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-04	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-05	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-06	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-07	1	567,301	710,1235	\$ 9,900.00	\$ 12,392.40
	PU-08	1	567,301	710,1235	\$ 9,900.00	\$ 12,392.40
	PU-09	1	567,301	710,1235	\$ 6,500.00	\$ 8,136.43
	PU-10	1	567,301	710,1235	\$ 6,500.00	\$ 8,136.43
	PU-11	1	567,301	710,1235	\$ 6,500.00	\$ 8,136.43
	PU-12	1	567,301	710,1235	\$ 6,500.00	\$ 8,136.43
	PU-13	1	567,301	710,1235	\$ 6,500.00	\$ 8,136.43
	PU-14	1	567,301	710,1235	\$ 15,100.00	\$ 18,901.54
	PU-15	1	567,301	710,1235	\$ 15,100.00	\$ 18,901.54
	PU-16	1	567,301	710,1235	\$ 12,700.00	\$ 15,897.33
	PU-17	1	567,301	710,1235	\$ 2,900.00	\$ 3,630.10

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi	=	90.000 Ton/Tahun
Pabrik beroperasi	=	330 hari kerja
Umur Alat	=	10 tahun
Kurs mata uang	=	1\$
	=	Rp 16.828,56 (Per April 2025)
Tahun pabrik didirikan	=	2029
UMR Kota Serang	=	Rp 5.135.548,00 (tahun 2029)

6.3 Komponen Biaya

6.3.1 Modal (Capital Investment)

Capital invesment adalah total biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pebrik beserta kelengkapannya dan untuk mengoperasikan pabrik. *Capital Invesment* terdiri dari:

a. *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment adalah biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik.

Tabel 6. 4 *Physical plant cost (PPC)*

Nama Biaya	Harga (Rp)
PEC (<i>Purchased Equipment Cost</i>)	Rp282.792.442.149,46
DEC (<i>Delivered Equipment Cost</i>)	Rp70.698.110.537,37
Biaya Pemasangan	Rp70.698.110.537,37
Biaya Pemipaan	Rp101.805.279.173,81
Biaya Instrumentasi dan Kontrol	Rp70.698.110.537,37
Biaya Instalasi Listrik	Rp42.418.866.322,42
Biaya Bangunan	Rp418.638.690.587,73
Biaya Pengembangan Lahan	Rp113.116.976.859,78
<i>Service Facillities</i>	Rp84.837.732.644,84
Biaya Land	Rp188.387.410.764,48
<i>Start Up Expenses Cost</i>	Rp5.500.677.799,54
Total PPC	Rp1.499.592.407.914,15

Tabel 6. 5 *Direct plant cost (DPC)*

Komponen Biaya	Biaya
<i>Engineering and Supervision Cost</i>	Rp 72.479.620.395,71
<i>Construction Cost</i>	Rp 86.975.544.474,85
<i>Contigenciest</i>	Rp 84.686.714.357.0897
<i>Total DPC</i>	Rp 244.141.879.227,65

Tabel 6. 6 *Fixed capital invesment (FCI)*

Komponen Biaya	Biaya
<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>	Rp1.499.592.407.914,15
<i>Direct Plant Cost (DPC)</i>	Rp 244.141.879.227,65
Total FCI	Rp 1.693.734.287.141,79

b. *Working Capital Investment*

Working Capital Investment merupakan dana yang dibutuhkan untuk mendukung operasional suatu pabrik dalam jangka waktu tertentu. Sumber pendanaan untuk membangun pabrik dapat berasal dari berbagai pihak, seperti pinjaman bank, dana pribadi, maupun investor. Tujuan utama dari investasi ini

adalah untuk memperoleh keuntungan dari modal yang telah ditanamkan. Adapun karakteristik investasi yang baik meliputi:

- 1) Mampu memberikan keuntungan yang optimal
- 2) Memiliki periode pengembalian yang cepat
- 3) Mematuhi peraturan hukum, didukung oleh teknologi yang memadai, aman, dan memenuhi aspek lainnya.

Tabel 6. 7 *Working Capital Investment (WCI)*

Komponen Biaya	Biaya
<i>Raw Material Inventory</i>	Rp187.450.213.477,92
<i>In Process Inventory</i>	Rp40.910.022.912,47
<i>Product Inventory</i>	Rp227.227.905.069,25
<i>Available Cash</i>	Rp227.227.905.069,25
<i>Extended Credit</i>	Rp5.454.669.721.662,06
Total WCI	Rp6.137.585.768.190,95

Tabel 6. 8 *Total Capital Investment*

Komponen Biaya	Biaya
Total <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	Rp 1.693.734.287.141,79
Total <i>Working Capital Investment</i> (WCI)	Rp6.137.585.768.190,95
Total Capital Investment	Rp7.831.320.055.332,75

6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing Cost merupakan total biaya yang diperlukan untuk memproduksi suatu produk. Biaya ini mencakup gabungan dari biaya langsung (*Direct Cost*), biaya tidak langsung (*Indirect Cost*), dan biaya tetap (*Fixed Cost*) yang semuanya berkaitan erat dengan proses produksi. Komponen dari biaya produksi adalah:

a. *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Biaya ini mencakup semua pengeluaran yang secara langsung terlibat dalam proses pembuatan produk di pabrik. Artinya, biaya ini berkaitan langsung dengan aktivitas produksi.

Tabel 6. 9 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Komponen	Biaya
<i>Raw Material</i>	Rp2.249.402.561.735
Biaya Pekerja Operasi	Rp15.940.800
Biaya <i>Direct Supervisory</i>	Rp3.188.160
Utilitas	Rp64.082.495.654
Biaya Perawatan dan Perbaikan	Rp101.624.057.228,51
<i>Plant Supplies</i>	Rp15.243.608.584,28
<i>Royalty and Patent</i>	Rp457.308.257,53
<i>Total Direct Manufacturing Cost</i>	Rp2.449.938.991.459

b. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

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

Tabel 6. 10 *Indirect manufacturing cost (IMC)*

Komponen	Biaya
<i>Payroll Overhead</i>	Rp2.869.344.000
Biaya Laboratorium	Rp4.463.424.000
<i>Plant Overhead</i>	Rp7.970.400.000
<i>Packaging and shipping</i>	Rp41.907.244.043,5359
<i>Total Indirect Manufacturing Cost</i>	Rp57.210.412.044

c. *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Fixed Manufacturing Cost atau biaya tetap adalah biaya yang dikeluarkan oleh pabrik pada saat kondisi operasi maupun

tidak. Pengeluaran yang bersifat konstan atau tetap yang tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

Tabel 6. 11 *Fixed manufacturing cost*

Komponen	Biaya
<i>Depreciation</i>	Rp152.436.085.842,76
<i>Property Taxes</i>	Rp50.812.028.614,25
<i>Insurances</i>	Rp16.937.342.871,42
<i>Total Fixed Manufacturing Cost</i>	Rp220.185.457.328,43

Tabel 6. 12 *Total Manufacturing cost*

Komponen	Biaya
<i>Total Direct Manufacturing Cost</i>	Rp2.449.938.991.459
<i>Total Indirect Manufacturing Cost</i>	Rp57.210.412.044
<i>Total Fixed Manufacturing Cost</i>	Rp220.185.457.328,43
<i>Total Manufacturing Cost</i>	Rp2.727.334.860.831,03

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General Expenses atau disebut pengeluaran umum terdiri dari pengeluaran-pengeluaran yang berhubungan dengan fungsi dari perusahaan yang tidak termasuk oleh Manufacturing cost. Biaya yang harus dikeluarkan guna untuk kepentingan dalam kelancaran jalannya perusahaan secara keseluruhan.

Tabel 6. 13 *General Expenses*

Komponen	Biaya
Biaya Administrasi	Rp136.366.743.041,55
Sales	Rp409.100.229.124,66
<i>Research</i>	Rp136.366.743.041,55
<i>Finance</i>	Rp234.939.601.659,98
Total General Expenses	Rp916.773.316.867,74

Tabel 6. 14 *Total production cost*

Komponen	Biaya
<i>Manufacturing cost</i>	Rp2.727.334.860.831,03
<i>General expenses</i>	Rp916.773.316.867,74
Total	Rp3,644,108,177,698.77

6.4 Analisa Keuntungan

6.4.1 Keuntungan Sebelum Pajak

Total penjualan = Rp4.190.724.404.353,59

Total production cost = Rp3.644.108.177.698,77

Keuntungan = Total penjualan - Total biaya produksi

= Rp546.616.226.654,82

6.4.2 Keuntungan Sesudah Pajak

Pajak 25% dari keuntungan = Rp136.654.056.663,70

Keuntungan = Keuntungan Sebelum Pajak - Pajak

= Rp409.962.169.991,11

6.5 Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan berfungsi untuk mengetahui laba yang didapatkan agar mendapatkan keuntungan maksimum dan bisa melihat hasil keuntungan kecil atau besar, agar bisa dikategorikan pabrik yang potensial atau tidak potensial dari sisi ekonomi, ada beberapa cara yang dilakukan untuk melihat suatu kelayakan pabrik, antara lain:

6.5.1 *Return on Investment (ROI)*

Return On Investment (ROI) adalah tingkat keuntungan yang di dapat setiap tahun dari tingkat investasi yang dikeluarkan. Pabrik dengan resiko rendah mempunyai minimum *ROI before tax* sebesar 11%, sedangkan pada pabrik dengan resiko tinggi mempunyai minimum *ROI before tax* sebesar 44%. Jumlah uang yang diterima atau hilang disebut laba/rugi atau bunga.

$$\%ROI = \frac{\text{Profit}}{\text{Fixed Capital Investment}} \times 100\%$$

- a. ROI sebelum pajak

$$ROI = 32,27\%$$

- b. ROI setelah pajak

$$ROI = 24,20\%$$

6.5.2 *Pay Out Time (POT)*

Pay Out Time adalah lama waktu pengembalian modal yang berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini diperlukan

untuk mengetahui dalam berapa tahun investasi yang telah dilakukan kembali.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment (FCI)}}{\text{Keuntungan} + \text{Depresant}}$$

a. POT sebelum pajak

Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah maksimum adalah 5 tahun.

$$POT = 2,4 \text{ tahun}$$

b. POT setelah pajak

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

6.5.3 Break Even Point (BEP)

Break even point merupakan titik yang menunjukkan pada suatu tingkat dimana biaya dan penghasilan jumlahnya adalah sama. Dengan *break even point* kita dapat menentukan tingkat harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga perunit yang dijual agar mendapat keuntungan. Nilai BEP pabrik kimia umumnya berada pada range 40-60%.

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

Dimana:

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

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

Tabel 6. 15 *Annual Fixed Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Depreciation</i>	Rp152.436.085.842,76
<i>Property Taxes</i>	Rp50.812.028.614,25
<i>Insurances</i>	Rp16.937.342.871,42
Total	Rp220.185.457.328,43

Tabel 6. 16 *Annual Variable Value*

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Raw Material</i>	Rp2.249.402.561.735
<i>Packaging and Shipping</i>	Rp41.907.244.043,5359
Biaya Bahan Utilitas	Rp64.082.495.654
<i>Royalties and Patents</i>	Rp457.308.257,53
Total	Rp2.355.849.609.690

Tabel 6. 17 *Annual Regulated Expenses*

Komponen	Biaya (Rp)
Gaji Karyawan	Rp15.940.800.000
<i>Payroll Overhead</i>	Rp2.869.344.000
<i>Plant Overhead</i>	Rp7.970.400.000
<i>Supervise</i>	Rp3.188.160.000
<i>Laboratory</i>	Rp4.463.424.000
<i>General Expenses</i>	Rp916.773.316.867,74
<i>Maintennace</i>	Rp101.624.057.228,51
<i>Plant Supplies</i>	Rp15.243.608.584,28
Total	Rp1.068.073.110.681

Tabel 6. 18 *Annual Sales Value*

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Annual Sales Value</i>	Rp4.190.724.404.353,59
Total	Rp4.190.724.404.353,59

Dengan menggunakan data yang sudah didapatkan pada tabel diatas, maka didapatkan nilai BEP sebesar : $BEP = 49,27 \%$

6.5.4 *Shut Down Point (SDP)*

Shut Down Point adalah titik atau kondisi saat penentuan suatu aktivitas produksi harus berhenti. Penyebabnya antara lain *variable cost* yang terlalu tinggi, atau bisa juga karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan profit). Hal tersebut diakibatkan karena biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal dari pada biaya untuk menutup pabrik dan membayar *fixed cost*.

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

Didapatkan $SDP = 30,45\%$

6.5.5 *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)*

Discounted cash flow rate of return adalah besarnya perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahunnya. Didasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik. Batasan DCFR sendiri adalah 1,5 kali bunga bank.

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

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 = Rp1.134.538.295.781,19

WCI = Rp5.874.092.703.160,95

SV = Rp113.453.829.578,12

N = 10 tahun

Sehingga diperoleh *trial & error* dapat dihitung nilai DCFR. Diperoleh nilai DCFR adalah:

DCFR = 8,89%

Bunga bank Indonesia pada 2029 = 5,75%

1,5 dari bunga bank Indonesia = 8,63%

6.6 Analisis Resiko Pabrik

Analisis resiko pabrik dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besar kecilnya resiko sebuah pabrik yang akan didirikan dengan mempertimbangkan kemungkinan yang terjadi, serta mencari solusi dari setiap resiko yang ada. Analisis resiko pabrik ditentukan berdasarkan beberapa parameter.

Tabel 6. 19 Analisis Resiko Pabrik

NO	Parameter	Kemungkinan		Dampak		Nilai Risiko	Level Risiko	Warna
1	Suhu 250°	3	Kadang Terjadi	3	Moderat	9	Rendah	
2	Tekanan 1 atm	1	Sangat Rendah	2	Rendah	2	Sangat Rendah	
3	Stirena (Bahan Baku)	3	Kadang Terjadi	4	Signifikan	12	Sedang	
4	Etilbenzena (Bahan Baku)	2	Jarang Terjadi	3	Moderat	6	Rendah	
5	Benzoil Peroksida (Bahan Baku)	2	Jarang Terjadi	5	Sangat Signifikan	10	Rendah	
6	Polistirena (Produk)	1	Hampir Tidak Terjadi	3	Moderat	3	Sangat Rendah	

Tabel 6. 20 Klasifikasi Resiko

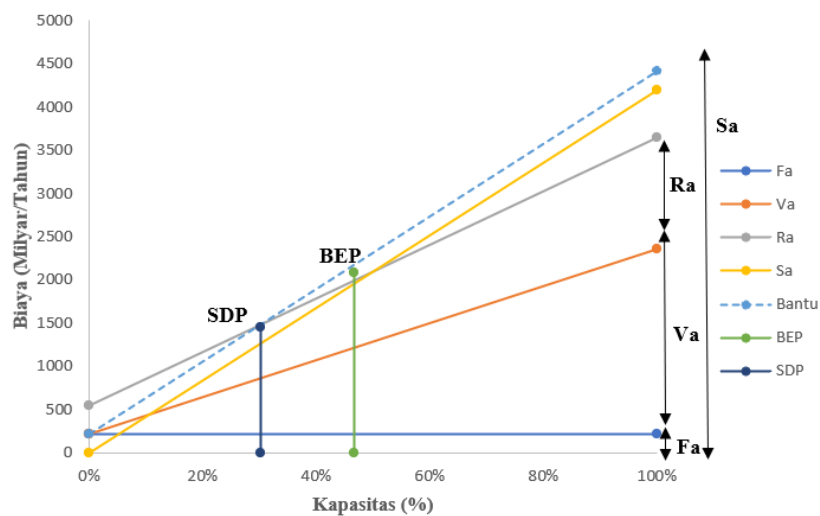
Level Risiko	Besaran Risiko	Warna
Sangat Tinggi (5)	20 - 25	
Tinggi (4)	16 - 19	
Sedang (3)	12 - 15	
Rendah (2)	6 - 11	
Sangat Rendah (1)	1 - 5	

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa pabrik polistirena dari stirena dengan kapasitas 90.000 ton/tahun memiliki risiko yang dapat dikelola dengan baik dengan implementasi praktik-praktik keamanan yang ketat. Dengan memperhatikan tindakan pencegahan yang disarankan, pabrik ini cenderung memiliki tingkat risiko yang *low risk*. Selain melakukan analisis berdasarkan beberapa resiko di atas, dilakukan juga analisis berdasarkan perhitungan ekonomi yang sudah dilakukan sebelumnya. Analisis tersebut meliputi nilai profit, ROI, POT, BEP, SDP, dan DCFRR. Berikut hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. 19 Hasil analisis kelayakan ekonomi

Parameter Kelayakan		Perhitungan	Standar Kelayakan
Keuntungan	Sebelum pajak	Rp546.616.226.654,82	Undang-Undang Pajak Penghasilan (UU PPh) adalah 25% dari keuntungan sebelum pajak
	Setelah pajak	Rp409.962.169.991,11	
<i>Return On Investment</i> (ROI)	Sebelum pajak	32,27%	Minimum 11% (<i>Industrial Chemical</i>)
	Setelah pajak	24,20%	
<i>Pay Out Time</i> (POT)	Sebelum pajak	2,4	Maksimum 5 tahun (<i>Industria Chemical</i>)
	Setelah pajak	3,0	
<i>Break Even Point</i> (BEP)		49,27%	40 – 60%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)		29,47%	-
<i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCFRR)		8,89%	> 1,5 kali bunga bank)

Berdasarkan analisis resiko diatas, pabrik polistirena dari stirena dikategorikan sebagai pabrik dengan resiko rendah. Berdasarkan hasil analisis kelayakan ekonomi pada tabel 20, menunjukan bahwa pabrik ini layak bangun. Dengan beberapa analisis ekonomi didapatkan grafik evaluasi ekonomi sebagai berikut:



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

Grafik BEP digunakan untuk mengetahui berapa total kapasitas yang harus di produksi dari kapasitas keseluruhan pabrik, dimana pabrik dalam kondisi untung dan tidak rugi atau dalam kata lain kembali modal. Sementara jika pabrik telah memproduksi produk dengan kapasitas produksi diatas titik BEP, pabrik akan disebut menguntungkan. Tetapi sebaliknya, jika pabrik memproduksi kurang dari titik BEP, maka dapat dikatakan pabrik mengalami kerugian. SDP adalah titik atau batas yang mengharuskan pabrik untuk ditutup karena mengalami kerugian besar.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perancangan pabrik Polistirena melalui proses polimerisasi larutan, dengan kapasitas 90.000 ton/tahun baik ditinjau secara teknis maupun ekonomi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Pendirian pabrik polistirena dengan kapasitas 90.000 ton/tahun bertujuan untuk memenuhi kebutuhan polistiren dalam negeri dan membuka lapangan pekerjaan serta meningkatkan pertumbuhan ekonomi.
- b. Pabrik Polistirena berbentuk Perseroan Terbatas (PT) didirikan di daerah Serang, Banten dengan luas tanah keseluruhan 27.493 m² dan jumlah karyawan 150 orang.
- c. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini cukup menarik dan layak untuk didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut:

1) *Return On Investment* (ROI)

a) ROI sebelum pajak = 32,27%

b) ROI setelah pajak = 24,2%

2) *Pay Out Time* (POT)

a) POT sebelum pajak = 2,4 tahun

b) POT setelah pajak = 3 tahun

$$3) \quad \text{Break Event Point (BEP)} = 49,72\%$$

Nilai BEP untuk pabrik pada umumnya berada pada rentang 40%-60%.

$$4) \quad \text{Shut Dwon Point (SDP)} = 29,47\%$$

$$5) \quad \text{Discounted Cash Flow Rate (DCFR)} = 8,89\%$$

Syarat minimum DCFR adalah diatas suku bunga pinjaman bank yaitu sekitar 1,5 kali suku bunga pinjaman bank.

Dengan pertimbangan hasil diatas, maka pabrik Polistirena dari Stirena menggunakan proses polimerisasi larutan dengan kapasitas 90.000 ton/tahun layak dari aspek teknis dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

- d. Hasil dari keseluruhan tinjauan yang dilakukan mulai dari tersedianya bahan baku, kondisi operasi proses dan hasil evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik Polistirena dengan kapasitas 90.000 ton/tahun layak untuk didirikan.

7.2 Saran

Perancangan suatu pabrik kimia memerlukan pemahaman terhadap konsep dasar yang mendukung kelayakan pendirian pabrik. Beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

- a. Perlu dilakukan optimasi dalam pemilihan alat utama, alat penunjang, serta bahan baku untuk meningkatkan efisiensi proses dan memaksimalkan keuntungan secara teknis dan ekonomis.

- b. Dalam merancang pabrik kimia, diperlukan pemahaman yang kuat serta dukungan referensi yang relevan terkait prinsip dasar perancangan. Studi lebih lanjut mengenai konsep dan teknologi terbaru sangat disarankan agar rancangan pabrik dapat lebih efektif, efisien, dan berdaya saing tinggi, baik di pasar domestik maupun internasional.
- c. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan lebih memperhatikan keberadaan limbah dan pengolahannya agar dapat mewujudkan pabrik kimia yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S. and Newton, R.D., 1955, “*Chemical Engineering Cost Estimation*”, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Badan Pusat Statistika. 2023. Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri Impor. Jakarta: Badan Pusat Statistika.
- Badan Pusat Statistika Provinsi Banten. 2025. <https://banten.bps.go.id/id>. Diakses pada 14 Mei 2025 pukul 16.38 WIB.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2025. <https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca/36.04.08.2001>. Diakses pada 2 Mei 2025 pukul 19.46 WIB
- Billmeyer, F.W. 1971. *Textbook of Polymer Science*. 2nd ed. Jhon Wiley and Sons. Inc.16. New York.
- Brandrup, J., Immagu, E.H., 1975. “*Polimer Handbook*” 2nd. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Brown, G.G. 1978. *Unit Operations*. John Wiley and Sons Inc. New York
- Brownell, L.E. and Young, E.H., 1979, “*Process Equipment Design*”, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Chen, kai, Peter Voth, dkk., 2000. *Single-Component Polymerization Catalysts for Ethylene and Styrene. Synthesis, Characterization, and Reactivity of Alkyl and Hydrido Yttrium Complexes Containing a Linked Amido–Cyclopentadienyl Ligand* , pp. 228-243.

- Coulson, J.M., and Richardson, J.F., 2002, *Chemical Engineering, Vol 2*, 5th ed., Oxford : Butterworth-Heinemann.
- Cowd, M.A. 1991. *Kimia Polimer* , Cetakan Ke-2 Bandung : Penerbit ITB.
- Flory, P.J., 1969. *Principles of Polymer Chemistry*, 7ed. Cornell University Press, London.
- Geankoplis, C.J., 1983, *Transport Processes and Unit Operations*, 2 nd ed., Allyn and Bacon Inc., Boston
- Hui, A.W and Hamielec, A.E., 1972. *Thermal Polymerization of Styrene at High Conversion and Temperature. An Experimental Study* , p. 749.
- Qian, J. W., Rudin, A., & Teh, J. W. 1991. *Effects of plasticizer on shear modification of polystyrene. Polymer International*, 24(3), 165–171.
- Su, S., Jiang, D. D., & Wilkie, C. A. (2004). *Polybutadiene-modified clay and its polystyrene nanocomposites. Journal of Vinyl and Additive Technology*, 10(1), 44–51.
- Kern, D.Q.1950. *Process Heat Transfer*. Mc. Graw-Hill International Book Company Inc. New York.
- Kirk and Othmer. 1976. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed, Vol. 1. New York: John Wiley & Sons.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F, 1978, *Encyclopedia of Chemichal Technology*, 3rd ed, *A Willey Interscience Publication*, John Wiley and Sons, Inc, New York
- Kirk, R.E., Othmer, V.R, 1982. *Encyclopedia of Chemical Technology*. pp. 452-606.

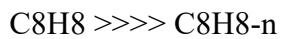
- Metcalf & Eddy, 1991, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition*, McGraw-Hill, New York.
- Matche. 2025. <http://www.matche.com/>. Diakses pada tanggal 26 Januari 2025 pukul 14.00 WIB.
- McCabe, W. L. 1976. *Unit Operation of Chemical Engineering*, 3rd ed. Singapore: McGraw Hill, Kogakusha ,
- M. A. Villalobos, A. E. Hamielec, and P. E. Wood, 1993. *Bulk and Suspension Polymerization of Styrene In The Presence of n-Pentane. An Evaluation of Monofunctional and Bifunctional Initiation, Volume Vol. 50*, pp. 327-343.
- Peter, M. S., Timmerhaus, K. D., 1991, “*Plant Design and Economics for Chemical Engineering*”, 5th ed., McGRAW-HILL, Singapore.
- Perry, R.H., and Green, D.W., 1986, *Perry’s Chemical Engineer’s Handbook*, 6th ed., McGraw Hill Book Co., Inc., New York
- Piero Frediani, Andrea Undri, Luca Rosi et al, 2014. *Polystyrene Synthesis, Characteristics and Applications. Chemistry Research and Applications*.
- Powell, S.T., 1954, “*Water Conditioning for Industry*”, McGraw-Hill Book Company, Tokyo.
- Rase, H.F., and Barrow, M.H., 1957, “*Project Engineering of Process Plants*”, New York: Wiley, Inc

- Smith, J.M., Van Ness, H.C., & Abbot, M.M., 1987, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 5th ed, Mc Graw Hill Book Company Inc., New York.
- Treyball, R.E., 1981, “*Mass Transfer Operation*”, 3rd ed., Singapore: Mc. Graw Hill Book Company, Inc.
- Ullmann, F., 2005, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, John Wiley & Sons, New York.
- Ulrich, Gael D. 1984. *A Guide To Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York : John Willey and Son, Inc.
- Vatavuk, W. M. (2002). *Updating the plant cost index: Changing ways of building plants are reflected as this widely used index is brought into the 21st century*. *Chemical Engineering*, 109(1), 62–70. Bergstrom, E. V. and Mitchell, J. G, 1966. Hydrocarbon pyrolysis reactor. s.l.:US3283028.
- Wallas, S.M *Chemical Process Equipment*. Mc.Graw Hill Koagakusha Company. Tokyo.
- Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Handbooks. New York.
- Yoon Won Jung, Jea Hoon Ryu, and Yeung Ho Park , 1998. *Calculation Of Molecular Weight Distribution In Styrene Polymerization Initiated By A Binary Initiator System*. Korean J. Chem. Eng., pp. 330-335.
- Yu Ning, 2015. *Study of the Kinetics of Free Radical Polymerization of Styrene in a Three Dimensional Network and Applications for Used Tire Recycling*. *Science*, p. 64.

LAMPIRAN A
PERANCANGAN REAKTOR

A. Neraca Massa

Reaksi di reaktor adalah sebagai berikut:



1) Neraca Massa Reaktor (R-01)

Tabel 1. Neraca Massa Reaktor (R-01)

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6
C_8H_8	11.130,561	0,0000	222,6112	0,0000
C_8H_{10}	9.171,165	0,0000	91.71,165	0,0000
C_6H_6	186,254	0,0000	0.000	186.254
$\text{C}_8\text{H}_8\text{-n}$	0,0000	45,255	10.953.205	0,0000
$\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$	0,0000	45,255	0,0000	0,0000
Total	20.533,235		20.533,235	

B. Densitas

Densitas komponen pada suhu 130°C / 403.15°K

Tabel 2. Densitas Reaktor

Komponen	Densitas (kg/m ³)	Input (kg/jam)	Fraksi Massa	ρ_L campuran (kg/m ³)
C_8H_8	1.116,261	11.130,561	0,542	605,098
C_8H_{10}	1.092,663	9.171,165	0,447	488.038
C_6H_6	1.124,02	186,254	0,009	10,196
$\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$	1.330	45,255	0,002	2,931
Total	4.662,9435	20.533,235	1	1.106,263

C. Design Equation

- a. Menghitung Kecepatan Alir Volumetrik

$$Fv = \frac{\text{massa umpan}}{\rho \text{ campuran}}$$

$$Fv = 18,564 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Fv = 18.564,425 \text{ L/jam}$$

- b. Menghitung Konsentrasi

$$Cao = \frac{fao}{Fv}$$

$$Cao = 5,765 \text{ mol/m}^3$$

- c. Menghitung Waktu Tinggal

$$\text{Waktu tinggal} = 39,678 \text{ menit}$$

- d. Menentukan Volume Reaktor

$$V = \frac{F_{M0} \cdot X \cdot \sqrt{k_t}}{k_p \cdot [M] \cdot \sqrt{k_d \cdot f \cdot [I]}}$$

$$\text{Volume reaktor} = 12.276,798 \text{ liter}$$

Perancangan reaktor dibuat dengan faktor keamanan (*overdesign*)

sebesar 20% sehingga volume reaktor menjadi:

$$\text{Volume reaktor} = 1,2 \times \text{volume reaktor}$$

$$\text{Volume reaktor} = 14.732,157 \text{ liter}$$

- e. Menghitung Dimensi Reaktor

Ditetapkan : $H = 2D$

Dimana:

Diameter reaktor = 2,109 m

Tinggi reaktor = 4,217 m

1) Menghitung Volume *Dish*

The volume in cubic feet of heads having *ier* equal to 6% of the outside diameter (not including the straight-flange portion) is approximately equal to:

$$V = 0.000049d_i^3 \quad (5.11)$$

where d_i = inside diameter of vessel, inches

V = volume of torispherical dished head to straight flange, cubic feet

(Brownell, pg. 88)

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

$$V_{\text{dish}} = 0,0005 \text{ m}^3$$

2) Menghitung Volume Sf

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} D^2 S f$$

$$V_{sf} = 0,133 \text{ m}^3$$

3) Menghitung Volume Head

$$V_h = V_{\text{dish}} + V_{sf}$$

$$V_h = 0,1334 \text{ m}^3$$

4) Menghitung Volume Reaktor Total

Reaktor berbentuk silinder vertical terdiri dari dinding (*shell*) dan tutup atas serta bawah (*head*) yang berbentuk *torispherical flanged and dished head*.

$$\text{Volume reaktor total} = \text{Volume reaktor} + 2 \cdot V_h$$

$$\text{Volume head} = 0,133 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume reaktor total} = 14,999 \text{ m}^3$$

5) Menghitung Volume bottom

$$V_{\text{bottom}} = 0,5 \times V_h$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,067 \text{ m}^3$$

6) Menghitung Volume Cairan

$$V_{\text{cairan}} = V_{\text{shell}} - V_{\text{bottom}}$$

$$V_{\text{cairan}} = 14,665 \text{ m}^3$$

7) Menghitung tinggi cairan

Let D = diameter of the vessel, feet
 H = height of the vessel, feet
 V = volume of the vessel, cubic feet = $\frac{\pi D^2 (H)}{4}$ (Brownell, pg. 41)

Maka,

$$h_{\text{cairan}} = \frac{4V}{\pi D^2}$$

$$h_{\text{cairan}} = 4,202 \text{ m}$$

8) Menghitung Volume Cairan dalam shell

$$\text{Volume cairan dalam shell} = V_{\text{cairan}} - V_h - V_{sf}$$

$$\text{Volume cairan dalam shell} = 14,399 \text{ m}^3$$

f. Menghitung Tebal Dinding Reaktor

t_s : Tebal shell (in)

P : Tekanan dalam tangki (psia)

F : Allowable stress (18,750 psi)

r_i : Jari-jari dalam storage (in)

E : Efisiensi pengelasan (80% joint efisiensi)

C : Faktor korosi (0,125 in)

$$t_s = \frac{P_d r_i}{fE - 0,6P_d} + C$$

Dari hasil perhitungan diperoleh tebal shell adalah 0,1805 in, sehingga tebal shell standar: 0,1875 in (3/16 in).

g. Menghitung Diameter Luar Reaktor (OD)

OD : Diameter luar, in

ID : Diameter dalam, in

t_s : Tebal shell, m

icr : Inside corner radius. in

r : Radius of dish. in

Berdasarkan Tabel 5.7 Brownell (1959), maka diambil OD standar:

Table 5.7. Dimensions of ASME Code Flanged and Dished Heads (Continued)

OD	40		42		48		54		60		66		72	
<i>l</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>	<i>icr</i>	<i>r</i>
$\frac{3}{4}_6$	$2\frac{1}{2}$	40	$2\frac{3}{8}$	42	3	48	$3\frac{1}{4}$	54	$3\frac{3}{8}$	60			$4\frac{3}{8}$	72
$\frac{1}{4}_4$	↑	↑	↑	40	↑	↑	↑	↑	↑	↑			↑	↑
$\frac{5}{8}_6$	↑		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑			↑	↑
$\frac{3}{8}_6$	↑		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑			↑	↑
$\frac{1}{4}_6$	↑		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑			↑	↑
$\frac{1}{4}_4$	↓	40	↓	↓	↓	↑	↓	48	↓	60			↓	↓
$\frac{3}{8}_6$	↓	36	↓	↓	↓	↑	↓	54	↓	54			↓	↓
$\frac{3}{4}_4$	$2\frac{1}{2}$		↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑			↑	↑
$\frac{3}{4}_6$	$2\frac{3}{8}$		$2\frac{3}{8}$	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑			↑	↑
1	3		3	40	3		$3\frac{1}{4}$							66
$1\frac{1}{8}$	$3\frac{3}{8}$		$3\frac{3}{8}$	42	$3\frac{3}{8}$		$3\frac{3}{8}$			$3\frac{3}{8}$			↓	↑
$1\frac{1}{4}$	$3\frac{3}{4}$			↑		↓			$3\frac{3}{4}$			4	↓	
$1\frac{3}{8}$	$4\frac{3}{8}$					↓						$4\frac{3}{8}$		
$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$					$4\frac{1}{2}$							$4\frac{1}{2}$	
$1\frac{3}{4}$	$4\frac{3}{4}$					$4\frac{3}{4}$							$4\frac{3}{4}$	
$1\frac{7}{8}$	$5\frac{1}{8}$					$5\frac{1}{8}$							$5\frac{1}{8}$	
$1\frac{3}{8}$	$5\frac{3}{8}$					$5\frac{3}{8}$							$5\frac{3}{8}$	
2	6					$6\frac{1}{2}$							6	
$2\frac{1}{4}$	$6\frac{3}{4}$					$6\frac{3}{4}$							$6\frac{3}{4}$	
$2\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$					$7\frac{1}{2}$							$7\frac{1}{2}$	

OD	=	42 in
	=	1,0668 in
	=	3,5 ft
icr	=	2,625 in
r	=	42 in

h. Perancangan Dimensi *Head*

1) Spesifikasi

Bentuk : *Torispherical Flanged and Dished Head*

Bahan : *Stainless Steel SA-167 Grade 3*

Alasan :

- Bisa digunakan untuk reaktor yang beroperasi dengan tekanan hingga 15 bar
- Lebih ekonomis dibandingkan dengan bentuk head lainnya
- Mudah untuk dibuat

2) Menghitung tebal head

$$W = \frac{1}{2}(3 + \sqrt{r_c/r_1}) \quad (7.76)$$

$$t = \frac{pr_c W}{2fE - 0.2p} + c \quad (7.77)$$

where W = stress-intensification factor for torispherical dished heads
 c = corrosion allowance, inches

(Brownell and Young, 1959. Pg. 138)

$$w = 1,75 \text{ in}$$

$$th = 0.188 \text{ in}$$

2) Menghitung tinggi *head*

b : Dept of dish (inside), in

OA : Overall dimension (tinggi head), in

sf : Straight flange

$$\begin{aligned} a &= \frac{ID}{2} \\ b &= r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \\ AB &= \frac{ID}{2} - (icr) \\ BC &= r - (icr) \\ AC &= \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \\ OA &= t + b + sf \end{aligned}$$

(Brownel & Young, 1959, pg.87)

$$b = 7,081 \text{ in}$$

$$OA = 8,768 \text{ in}$$

$$AB = 1,759 \text{ in}$$

$$BC = 39,375 \text{ in}$$

$$AC = 39,336 \text{ in}$$

3) Menghitung tinggi total reaktor

$$H_{\text{reaktor}} = 2h_{\text{head}} + h_{\text{shell}}$$

$$H_{\text{reaktor}} = 4,663 \text{ m}$$

i. Menghitung Dimensi Pengaduk

1. Spesifikasi

Jenis : Flat six blade open turbine impeller

Baffle : 4 buah

2. Ukuran Pengaduk

POWER CONSUMPTION OF AGITATORS

507

Type of Impeller	$\frac{D_t}{D_i}$	$\frac{Z_i}{D_i}$	$\frac{Z}{D_i}$	Baffles No. w/D_i	No.	Ref.	Type of Impeller	$\frac{D_t}{D_i}$	$\frac{Z_i}{D_i}$	$\frac{Z}{D_i}$	Baffles No. w/D_i	No.	Ref.		
Turbine with 6 flat blades. 	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.17	1	7	Paddle with 2 blades. 	4.35	4.3	0.29	3	0.11	8	3
Same as No. 1.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	2	7	Paddle with 4 blades. See No. 8.	3	3	0.5	0		16	2
Same as No. 1.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.04	4	7	Paddle with 2 blades. See No. 8.	3	3.2	0.33	0		20	4
Same as No. 1. $\alpha = 1, \delta = 40$.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	0		14*	7	Paddle with 2 blades. See No. 8.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	10	7
Turbine with 6 curved blades. Blade sizes same as No. 1. 	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	3	7	Paddle with 2 blades. See No. 8. Blade width $= 0.13D_i$.	1.1	0.5	0.19	0		29	10
Turbine with 6 arrowhead blades. Blade sizes same as No. 1. 	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	5	7	Paddle with 2 blades. See No. 8. Blade width $= 0.17D_i$.	1.1	0.4	0.10	0		29	10
Radial turbine with deflector ring. 				0		7	9	Marine propeller with 3 blades. Pitch $= 2D_i$. 	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	15	7
Shrouded turbine with 6 blades, 20-blade deflector ring.	2.4	0.74	0.9	0		11	6	Same as No. 15. $\alpha = 1.7, \delta = 18$.	3.3	2.7-3.9	0.75-1.3	0		21*	7
Similar to No. 11, but not identical.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	0		12	7	Same as No. 15, but pitch $= 1.33D_i$.	16			3	0.06	18	5
Same as No. 12, but no deflector ring.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	13	7	Same as No. 15, but pitch $= 1.69D_i$.	9.6			3	0.06	23	5
Axial turbine with 8 blades at 45° angle. See No. 17.	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	9	7	Same as No. 15, but pitch $= 1.05D_i, \alpha = 2.3, \delta = 18$.	2.7	2.7-3.9	0.75-1.3	0		27*	7

$$D_t/D_i = 3$$

$$Z_i/D_i = 3$$

$$Z_i/D_i = 1$$

$$W_b/D_i = 0,17$$

$$D_t = 2,109 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pengaduk } (D_i) = D_t/3 = 0,703 \text{ m}$$

$$\text{Jarak pengaduk dari dasar tangki } (Z_i) = D_i \cdot 1 = 0,703 \text{ m}$$

$$\text{Lebar impeller } (W) = D_i \times 0.2 = 0,141 \text{ m}$$

$$\text{Lebar baffle } (J) = D_i \times 0,17 = 0,119 \text{ m}$$

$$\text{Panjang blade } (L) = D_i \times 0.25 = 0,176 \text{ m}$$

$$\text{Diameter batang penyangga } (D_d) = D_i \times 2/3 = 0,469 \text{ m}$$

$$\text{Jarak baffle dari dasar tangki} = D_i \times 1/2 = 0,351 \text{ m}$$

$$\text{Jarak baffle dari permukaan cairan} = D_i \times 1/6 = 0,117 \text{ m}$$

$$\text{Panjang baffle} = 3.718 \text{ m}$$

Jumlah *baffle* = 4 buah

Jumlah *impeller* = 1 buah

j. Menghitung Power Pengaduk

i. *Specific Gravity*

sg = 1,1063

WELH = 2,255 m

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

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

Jumlah putaran (N) = 104,95 rpm

ii. Menghitung Power Pengaduk

$$Pa = Np \cdot \rho \cdot Ni^3 \cdot Di^5$$

Pa = 10 hP

Neraca Panas Reaktor

Tabel 3. Neraca Panas Reaktor-01

Komponen	Masuk ΔH in (kJ/ jam)	Keluar ΔH out (kJ/ jam)
C ₈ H ₈	2,327	0,047
C ₈ H ₁₀	1,872	1,872
C ₆ H ₆	0,187	0,187
(C ₈ H ₈) _n	0,0000	2,099
C ₁₄ H ₁₀ O ₄	0,005	0,0000
ΔH Reaksi	1.399.805,14	
Sub Total	1.399.809,53	4,203
Q Pendingin		1.399.805,33
Total	1.399.809,53	1.399.809,53

$Q_{in} > Q_{out}$, sehingga diperlukan pendingin. Kebutuhan pendingin yang digunakan berupa *water*.

$$T_1 = 30^{\circ}\text{C} = 298,15^{\circ}\text{K}$$

$$T_2 = 55^{\circ}\text{C} = 328,15^{\circ}\text{K}$$

Kebutuhan air pendingin

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = 3,88 \text{ lb/jam}$$

PENDINGIN

1. Reaktor 1

a. Menghitung ΔT LMTD

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta LMTD = 170,367$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = 0,00$$

$$S = 0,286$$

Untuk mendapatkan nilai FT, maka digunakan grafik sebagai berikut:

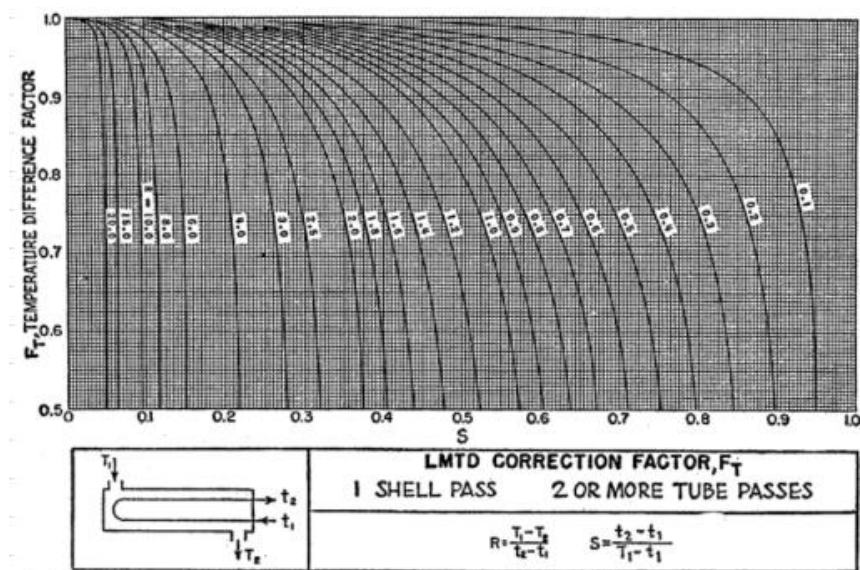


FIG. 18. LMTD correction factors for 1-2 exchangers. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2d ed. New York, 1949.)

(Kern, pg. 828)

$$F_T = 1$$

$$\Delta T_{\text{LMTD corrected}} = \Delta T_{\text{LMTD}} \times F_T$$

$$= 160,489^\circ\text{F}$$

- b. Menghitung *Overall Heat Transfer Koefisien*

TABLE 8. APPROXIMATE OVERALL DESIGN COEFFICIENTS
Values include total dirt factors of 0.003 and allowable pressure drops of 5 to 10 psi on the controlling stream

Coolers		
Hot fluid	Cold fluid	Overall U_D
Water	Water	250-500‡
Methanol	Water	250-500‡
Ammonia	Water	250-500‡
Aqueous solutions	Water	250-500‡
Light organics*	Water	75-150
Medium organics†	Water	50-125
Heavy organics‡	Water	5-75‡
Gases	Water	2-50¶
Water	Brine	100-200
Light organics	Brine	40-100
Heaters		
Hot fluid	Cold fluid	Overall U_D
Steam	Water	200-700‡
Steam	Methanol	200-700‡
Steam	Ammonia	200-700‡
Steam	Aqueous solutions:	
Steam	Less than 2.0 cp	200-700
Steam	More than 2.0 cp	100-500‡
Steam	Light organics	100-200
Steam	Medium organics	50-100
Steam	Heavy organics	5-60
Steam	Gases	5-50¶
Exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	Overall U_D
Water	Water	250-500‡
Aqueous solutions	Aqueous solutions	250-500‡
Light organics	Light organics	40-75
Medium organics	Medium organics	20-60
Heavy organics	Heavy organics	10-40
Heavy organics	Light organics	30-60
Light organics	Heavy organics	10-40

* Light organics are fluids with viscosities of less than 0.5 centipoise and include benzene, toluene, acetone, ethanol, methyl ethyl ketone, gasoline, light kerosene, and naphtha.

† Medium organics have viscosities of 0.5 to 1.0 centipoise and include kerosene, straw oil, hot gas oil, hot absorber oil, and some crudes.

‡ Heavy organics have viscosities above 1.0 centipoise and include cold gas oil, lube oils, fuel oils, reduced crude oils, tars, and asphalts.

§ Dirt factor 0.001.

|| Pressure drop 20 to 30 psi.

¶ These rates are greatly influenced by the operating pressure.

(Kern, pg.840)

Berdasarkan Tabel 8 Hal. 840, Kern, viskositas komponen dibawah

0.1 merupakan *light organic*, dan *cold* yang dipakai adalah *water*.

Maka, didapatkan range UD :

UD for Gas-Water = 75 – 150 Btu/hr.ft².F

UD Trial = 100 Btu/hr.ft².F

c. Menghitung *Heat Transfer Area*

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}}$$

$$A = 82,67 \text{ ft}^2$$

- d. Menghitung Luas Selubung Reaktor

$$\text{Luas Selubung Reaktor} = \pi \cdot D \cdot H + \frac{1}{4} \cdot D^2$$

Dengan diketahui:

Diameter reaktor = 6,919 ft

Tinggi reaktor = 13,837 ft

Luas selubung = 29,034 ft²

- Untuk luas selubung < A (*Heat Transfer Area*) = menggunakan pendingin koil
- Untuk Luas Selubung > A (*Heat Transfer Area*) = menggunakan pendingin jaket

Mengikuti ketentuan di atas, maka ditentukan bahwa selubung menggunakan pendingin koil.

- e. Menghitung Perpindahan Panas Total

$$U_c = \frac{h_o \times h_{io \text{ koil}}}{h_o + h_{io \text{ koil}}}$$

$$U_c = 12.331,05 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

- f. Menentukan Panjang Koil dan Banyaknya Lilitan

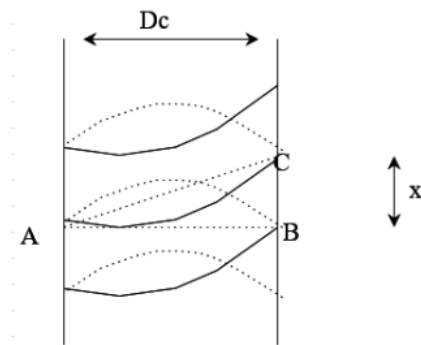
$$L \text{ pipa koil} = \frac{A}{a''}$$

$$L \text{ pipa koil} = 1,572 \text{ m}$$

$$N \text{ lilitan} = \frac{L \text{ pipa koil}}{K \text{ lilitan}}$$

$$N \text{ lilitan} = 2 \text{ lilitan}$$

g. Menentukan Jumlah Lengkungan Koil



$$Dc = 0.7 \times \text{ID reaktor}$$

$$Dc = 29,188 \text{ in}$$

$$AB = \text{ID reaktor}$$

$$BC = x$$

$$x = 0.5 \times \text{OD reaktor}$$

$$x = 2,25 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(AB)^2 + (BC)^2}$$

$$AC = \sqrt{(ID)^2 + x^2}$$

1) Panjang satu putaran

$$\text{Keliling busur AB} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D_c$$

$$= 0,294 \text{ ft}$$

$$\text{Keliling busur BC} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot A_C$$

$$= 3,533 \text{ ft}$$

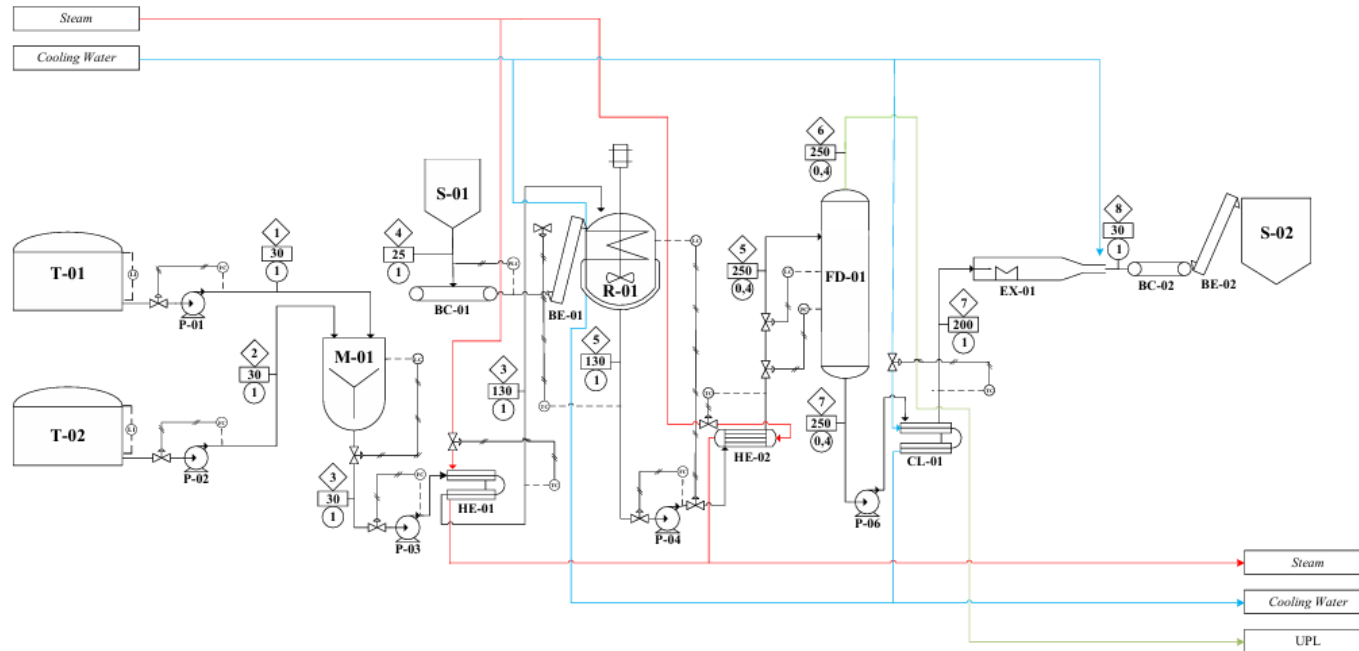
$$K \text{ lilitan} = 3,827 \text{ ft}$$

Tabel 4. Spesifikasi Reaktor

Reaktor				
Tinggi	13,837	ft	4,218	m
Diameter	6,918	ft	2,109	m
Luas Selimut	29,033	ft ²	2,697	m ²

LAMPIRAN B
PROCESS FLOW DIAGRAM
(PFD)

PROCESS FLOW DIAGRAM
PRA-RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA
KAPASITAS : 90.000 TON/TAHUN



Komponen	No. Arus							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C ₈ H ₈	11.130,394	-	11.130,561	-	222,611	232,422	12,915	12,915
TBC	0,167	-	-	-	-	-	-	-
C ₈ H ₁₀	44,701	9.126,464	9.171,464	-	9.171,165	8.750,922	425,924	425,924
C ₆ H ₆	-	186,254	186,254	-	186,254	186,254	-	-
C ₈ H ₈ -n	-	-	-	-	10.953,205	-	10.924,797	10.924,797
C ₁₄ H ₁₀ O ₄	-	-	-	45,255	-	-	-	-
Total	11.175,262	9.312,718	20.487,980	45,255	20.533,235	9.169,599	11.363,636	11.363,636

KETERANGAN INSTRUMEN	
FC	: Flow Control
PC	: Pressure Control
TC	: Temperature Control
LC	: Level Control
LI	: Level Indicator
PLC	: Programmable Logic Controller
KETERANGAN SIMBOL	
	: Tekanan, atm
	: Suhu, °C
	: Nomor Arus
	: Control Valve

KETERANGAN SIMBOL	
	: Arus Sinyal Pneumatic
	: Arus Sinyal Listrik
	: Arus Proses
	: Arus Steam
	: Arus Cooling Water
	: Arus UPL

KETERANGAN ALAT	
R	: Reaktor
HE	: Heater
M	: Mixer
CL	: Cooler
EX	: Extruder
FD	: Flash Drum
T	: Tangki
P	: Pompa
UPL	: Unit Pengolahan Limbah
BE	: Belt Elevator
BC	: Belt Conveyor
S	: Silo

	PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA
	PROCESS FLOW DIAGRAM PRA-RANCANGAN PABRIK POLISTIRENA DARI STIRENA DENGAN KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN Disusun Oleh: Adyna Salsabilla (21521092) Mella Yonata (21521111) Dosen Pembimbing: Dr. Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C
KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

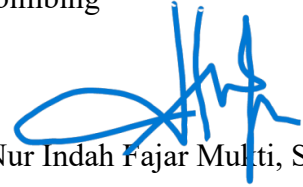
Nama Mahasiswa 1 : Adyna Salsabilla
 No. Mahasiswa 1 : 21521092
 Nama Mahasiswa 2 : Mella Yonata
 No. Mahasiswa 2 : 21521111
 Judul Pra rancangan Pabrik : Pra Rancangan Pabrik Polistirena dari Stirena dengan
 Kapasitas 90.000 Ton/Tahun
 Mulai Masa Bimbingan : 14 September 2024
 Selesai Masa Bimbingan : 29 Mei 2025

No.	Tanggal	Konsultasi	Paraf dosen
1	18 September 2024	Pertemuan perdana membahas judul TA	
2	26 September 2024	Menghitung kinetika reaksi	
3	27 November 2024	Membahas bahan baku utama pabrik	
4	8 Desember 2024	Membahas Reaksi yang terjadi	
5	11 Desember 2024	Menentukan kapasitas pabrik	
6	31 Desember 2024	Membahas alur proses yang terjadi di dalam pabrik	
7	13 Januari 2025	Mengkonsultasikan perhitungan neraca massa	
8	23 Januari 2025	Mengkonsultasikan perhitungan neraca massa	
9	12 Februari 2025	Mengkonsultasikan rancangan reaktor, PEFD, alat penukar panas, tangki penyaliran	
10	11 Maret 2025	Konsultasi kembali mengenai neraca massa dan recycle	
11	17 Maret 2025	Konsultasi mengenai neraca massa alat dryer	
12	21 Maret 2025	Mengkonsultasikan rancangan reaktor, luas pabrik dan neraca panas	
13	27 Maret 2025	Mengkonsultasikan kembali perhitungan reaktor	
14	25 April 2025	Mengkonsultasikan kembali PEFD	
15	8 Mei 2025	Membahas alur perhitungan utilitas	
16	24 Mei 2025	Konsultasi perhitungan utilitas	
17	27 Mei 2025	Konsultasi perhitungan ekonomi	
18	29 Mei 2025	Konsultasi naskah akhir	

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 29 Mei 2025

Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop followed by several vertical and horizontal strokes.

Dr. Nur Indah Fajar Mulati, S.T.,
M.Eng.