

**PRARANCANGAN PABRIK KARBOKSIMETIL
SELULOSA DARI SELULOSA DENGAN KAPASITAS
4.000 TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar

Sarjana Teknik Kimia



Disusun Oleh:

Nama	: Annisa Rahmalia Safitri	Nama	: Radiva Rizqino
NIM	: 22521088	NIM	: 22521102

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

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Annisa Rahmalia Safitri

Nama : Radiva Rizqino

NIM : 22521088

NIM : 22521102

Yogyakarta, Mei 2026

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

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

Tanda Tangan,

Tanda Tangan,

Mahasiswa 1

Mahasiswa 2



Annisa Rahmalia Safitri

Radiva Rizqino

NIM: 22521088

NIM: 22521102

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK KARBOKSIMETIL SELULOSA DARI

SELULOSA DENGAN KAPASITAS 4.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK



Disusun oleh:

Nama : Annisa Rahmalia Safitri	Nama : Radiva Rizqino
NIM : 22521088	NIM : 22521102

Yogyakarta, 4 Juni 2026

Dosen Pembimbing,




Venitalitya Alethca Sari Augustia, S.T., M.Eng.

NIK. 175210103

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PRARANCANGAN PABRIK KARBOKSIMETIL SELULOSA DARI
SELULOSA DENGAN KAPASITAS 4.000 TON/TAHUN
PRARANCANGAN PABRIK

Disusun Oleh:

Nama : Annisa Rahmalia Safitri Nama : Radiva Rizqino
NIM : 22521088 NIM : 22521102

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 11 Juni 2026

Tim Penguji,
Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng.
Ketua Penguji

Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.
Penguji 1

Cholila Tamzysi, S.T., M.Eng., Ph.D.
Penguji 2

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



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

NIK. 995200445

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Karboksimetil Selulosa dari Selulosa dengan Kapasitas 4.000 Ton/Tahun” dengan tepat waktu. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana (S1) Teknik Kimia di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan keterampilan yang telah kami peroleh selama masa perkuliahan ke dalam perancangan suatu industri kimia secara komprehensif. Melalui prarancangan pabrik ini, kami melakukan kajian terhadap berbagai aspek yang meliputi pemilihan proses, neraca massa dan energi, perancangan peralatan proses, utilitas pabrik, tata letak pabrik, organisasi perusahaan, hingga analisis ekonomi guna menilai kelayakan pendirian pabrik karboksimetil selulosa berbahan baku selulosa dengan kapasitas produksi 4.000 ton per tahun.

Penulisan laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat dukungan, bimbingan, dan bantuan dari banyak pihak yang sangat berarti bagi kami. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, serta kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Orang tua kami yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi selama proses penyusunan tugas akhir.
3. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Prof. Ir. 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 Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan kami arahan.
6. Semua pihak yang telah membantu berjalannya proses penyusunan Laporan Tugas Akhir yang tidak bisa kami sebutkan satu per satu.

Kami menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki berbagai keterbatasan sehingga kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi perbaikan dan penyempurnaan di masa mendatang. Kami berharap laporan Tugas Akhir Prarancangan Pabrik ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi referensi yang berguna bagi pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Kimia. Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 26 Mei 2026

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, kekuatan, dan petunjuk-Nya sepanjang penyusunan rancangan pabrik ini. Tugas akhir ini menjadi bukti nyata atas kebesaran-Nya yang menuntun langkah saya dari awal perkuliahan hingga berhasil menyelesaikan perjuangan akademis ini.

Saya menyadari bahwa tugas akhir ini tidak akan selesai dengan lancar tanpa adanya uluran tangan dan kehadiran orang-orang baik di sekitar saya. Dengan ketulusan hati, tugas akhir ini saya dedikasikan sepenuhnya kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta, kedua orang tua saya, Dengan penuh rasa syukur dan cinta yang tak terhingga, saya persembahkan lembar ini sebagai wujud terima kasih yang paling dalam atas setiap tetes keringat, pengorbanan waktu, ridho, dan untaian doa yang tak pernah terhenti kalian panjatkan di setiap sujud untuk anakmu. Sadar sepenuhnya, tanpa cinta dan perjuangan kalian, saya tidak akan pernah bisa berdiri dan menjadi seperti sekarang. Terima kasih banyak karena sudah mengusahakan apa pun, bahkan hal yang paling mustahil sekalipun, demi masa depan dan kelancaran kuliahku, Pak, Buk. Semoga jaminan surga tanpa hisab, Allah SWT berikan untuk kalian yang selalu mengusahakan pendidikan anakmu ini. Dengan kasih sayang dan ketulusan yang tiada henti, kalian adalah alasan utama saya bertahan menghadapi setiap tahap dalam penyusunan tugas akhir ini. Semoga

pencapaian kecil ini menjadi langkah awal yang nyata untuk membawa kebahagiaan serta senyuman di wajah Bapak dan Ibu, karena sejujurnya, semua kerja keras dan lelahku selama ini hanya untuk kalian. Sehat-sehat selalu ya, Pak, Buk. Aku ingin sukses dunia akhirat bersama kalian, agar kelak bisa membalas semua kebaikan kalian yang tak ternilai harganya. Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.

2. Adikku, Rasyiid. Terima kasih banyak atas doa, dukungan, dan *insight* seru seputar dunia perkuliahan selama kita sama-sama merantau. Mari terus berjuang bersama untuk mewujudkan mimpi besar Bapak dan Ibu, ya! Semoga Allah SWT selalu memudahkan jalanmu dalam meraih setiap impian dan kesuksesan. Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.
3. Ibu Venitality Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing saya. Terima kasih yang tak terhingga saya haturkan atas segala bimbingan, kesabaran, perhatian, dan waktu berharga yang selalu Ibu luangkan untuk mengarahkan saya dan *partner*, mulai dari masa penelitian hingga selesainya tugas akhir rancangan pabrik ini. Saya bersyukur bisa belajar banyak hal, baik ilmu maupun motivasi dari Ibu yang akan selalu saya ingat. Semoga Allah SWT senantiasa memberkahi Ibu beserta keluarga dengan kesehatan, kebahagiaan, serta kesuksesan yang melimpah baik di dunia maupun di akhirat. Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.
4. Radiva Rizqino, teman sekaligus *partner* saya. Terima kasih banyak ya sudah tulus menemani dan selalu ada di samping saya, baik selama perkuliahan maupun di luar perkuliahan. Seru rasanya bisa saling

berdampingan, berproses, dan berjalan bersama melewati masa-masa kuliah ini. Kalau diingat kembali, ternyata sudah banyak sekali progres penting yang berhasil kita lalui, mulai dari kerja praktik, penelitian, hingga akhirnya tugas akhir ini bisa selesai dengan baik. *Thank you for always doing a great job, even though we both know how hard it was. So proud of us!* Saya bersyukur diberi rezeki, berupa kesempatan bertemu dengan teman sebaik kamu. Semoga pertemanan kita tetap terjaga dengan baik meskipun harus melampaui jarak, waktu, dan kesibukan yang akan datang. Terima kasih, div.

5. Teman-teman seperjuangan masa kuliah, KRS *Reborn*. *Support system* terbaik saya, Bima, Salsa, Okta, Jeni, Desy, Diva, Ghea, dan Aisyah. Terima kasih banyak untuk kalian yang selalu ada dan banyak membantu saya melewati segala dinamika selama perkuliahan ini. Setiap hari yang saya lalui di kampus terasa jauh lebih berkesan berkat kalian semua. Saya pasti akan sangat merindukan momen-momen kita. Sedih rasanya saat menyadari bahwa kita akan segera melangkah di jalan masing-masing dan saling berpisah. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberhasilan untuk setiap langkah perjuangan kalian di mana pun kalian berada. Sukses untuk kita semua *guys*, Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.
6. Orang-orang *2nd choice*, Ghea, Okta, dan Diva. Terima kasih atas kebersamaannya selama ini. Di sela padatnya perkuliahan, cerita seru dan tawa lepas dari kalian adalah hal yang selalu saya butuhkan untuk *recharge* semangat saya. Bersyukur sekali bisa kenal dan sedekat ini dengan kalian.

Semoga langkah kita ke depan selalu dimudahkan dan kita bisa sukses bersama. *Thank you for everything, guys! Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.*

7. Teman 1 Semester 1 Kali, Fathiyya, Ulya, dan Rafida. Memang benar kalau kita hanya bisa curi-curi waktu untuk bertemu di kala libur semester saja, tapi kehadiran dan semangat yang selalu kalian kirimkan benar-benar berarti bagi saya sepanjang proses kuliah saya. Terima kasih juga karena udah membersamai lika-liku hidup saya dari zaman sekolah hingga bangku kuliah ini. Mari kita tetap bersama di setiap fase kehidupan selanjutnya, ya!
8. Kepada semua pihak yang turut memberi bantuan, doa, dan kebaikan selama perjalanan saya. Mohon maaf tidak bisa saya sebutkan satu per satu, namun saya sangat bersyukur atas kehadiran kalian semua.
9. Terakhir, apresiasi untuk diri saya sendiri. Terima kasih ya sudah mau berjuang sejauh ini dan tidak menyerah dengan rasa ragumu sendiri. Tugas Prarancangan Pabrik Kimia ini sama sekali tidak mudah, tapi apa pun hasilnya, kamu sudah memberikan yang terbaik dan menyelesaikannya dengan sangat baik. Terima kasih karena telah terus berusaha dengan selalu percaya bahwa Allah SWT tidak akan membebani hamba-Nya di luar batas kemampuannya. Tetap semangat, hingga nanti kamu akan melihat dirimu senang dan menikmati seponsi kemenangan di masa depan. Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.

Annisa Rahmalia Safitri

Teknik Kimia UII 2022

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan kemudahan yang senantiasa diberikan dalam setiap langkah perjalanan ini. Tidak ada proses yang benar-benar mudah, namun selalu ada jalan yang Allah hadirkan di tengah setiap kesulitan.

Tugas akhir ini menjadi bagian dari perjalanan panjang yang penuh pembelajaran, perjuangan, doa, serta dukungan dari banyak pihak. Di balik setiap pencapaian, ada tangan-tangan yang membantu, ada ketulusan yang menguatkan, dan ada doa-doa yang tidak pernah terputus. Sebagai wujud rasa syukur dan terima kasih yang mendalam, tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya. Untuk Papa dan Mama, rumah terbaik yang Allah berikan dalam hidup saya. Papa dan Mama selalu berusaha memberikan apa yang saya butuhkan bahkan apa yang saya inginkan, mendukung setiap keputusan yang saya ambil, dan tetap berdiri di sisi saya bahkan ketika saya meragukan diri sendiri. Di setiap langkah yang saya tempuh, selalu ada doa kalian yang mengiringi, dan di setiap ketakutan yang saya sembunyikan, selalu ada tangan kalian juga yang menenangkan. Pa, Ma *thank you for loving me in the purest way possible, thank you for being here always, and thank you for everything.* Mungkin saya tidak pandai mengungkapkan rasa sayang melalui kata-kata, tetapi di balik seluruh proses panjang penyusunan tugas akhir ini, ada begitu banyak doa yang saya panjatkan. Saya tahu, sejauh apa pun saya

melangkah, saya tidak akan pernah benar-benar berjalan sendirian. Ini mungkin hanya hal kecil untuk membalas seluruh pengorbanan, kesabaran, dan kasih sayang yang telah kalian berikan, tetapi semoga melalui ini Mama dan Papa tahu bahwa saya selalu berusaha menjadi seseorang yang dapat kalian banggakan. Terima kasih untuk semua pelukan yang menenangkan, untuk semua “tidak apa-apa” di saat saya merasa gagal. Semoga Papa dan Mama senantiasa diberikan panjang umur dan sehat selalu. Aamiin.

2. Ibu Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng, saya menyampaikan rasa hormat dan terima kasih atas bimbingan serta arahan yang telah diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini. Setiap masukan yang disampaikan, baik secara langsung maupun tidak langsung, menjadi bagian dari proses pembelajaran yang berharga dalam menyelesaikan studi ini.
3. Annisa Rahmalia Safitri, *thank you for being part of this long and meaningful journey*. Terima kasih sudah membersamaiku di setiap proses perjalanan ini mulai dari kerja praktik, penelitian, hingga penyusunan tugas akhir. *Thank you for every discussion and every help you gave me*. Terima kasih juga untuk semua momen di luar kampus yang kita lewati bersama seperti main bareng, *watching concert together*, sampai hal-hal lainnya yang akhirnya menjadi kenangan menyenangkan di tengah proses yang melelahkan. *I'm grateful to have a partner like you*. Semoga semua perjuangan, air mata, dan usaha yang sudah kita lewati bersama bisa menjadi cerita yang nantinya akan selalu kita banggakan. *See you at the finish line, ra. We did our best, and I'm proud of us*.

4. Teman-teman KRS Reborn, Bima, Ghea, Jeni, Ara, Salsa, Okta, Desy, dan Aisyah. Terima kasih untuk semua momen yang sudah dilewati bersama dan segala bantuan yang pernah diberikan. *Thank you for all support, help, and memories that we created together.*
5. Teman-teman orang” *2nd choice*, Ghea, Okta, dan Ara. Terima kasih sudah menjadi bagian dari cerita selama masa perkuliahan ini dan selalu hadir di banyak momen, baik yang menyenangkan maupun yang melelahkan. Terima kasih untuk semua tawa, cerita *random*, bantuan, dukungan, dan kebersamaannya. *I’m grateful for every moment we shared together.*
6. Semua pihak yang telah hadir dan berkontribusi dalam proses perjalanan ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, terima kasih atas segala bantuan, dukungan, doa, dan kebaikan yang telah diberikan. Meskipun tidak dapat saya sebutkan satu per satu, setiap dukungan yang diberikan memiliki arti yang sangat besar bagi saya hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Radiva Rizqino

Teknik Kimia UII 2022

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
LEMBAR PERSEMBAHAN	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMIPRAN	xviii
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN	xviii
ABSTRAK.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Penentuan Kapasitas Produk	4
1.2.1 <i>Supply</i>	4
1.2.2 <i>Demand</i>	6
1.2.3 Kapasitas Produk Komersial	8
1.3 Tinjauan Pustaka	11
1.3.1 Karboksimetil Selulosa	11
1.3.2 Selulosa	12
1.3.3 Proses Produksi	13
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika	23
1.4.1 Tinjauan Termodinamika.....	23
1.4.2 Tinjauan Kinetika	29
BAB II PERANCANGAN PRODUK.....	33
2.1 Spesifikasi Produk.....	33
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	36
2.3 Pengendalian Kualitas	39
2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku.....	40
2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses	40
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk	43
BAB III PERANCANGAN PROSES	44
3.1 Diagram Alir Proses dan Material	44

3.2 Uraian Proses	46
3.2.1 Tahap persiapan dan penanganan bahan baku serta bahan pendukung.....	46
3.2.2 Tahap reaksi kimia pembentukan produk	47
3.2.3 Tahap pemisahan dan permunian produk akhir	48
3.3 Spesifikasi Alat.....	49
3.3.1 Spesifikasi Reaktor.....	49
3.3.2 Spesifikasi Alat Proses (Pendukung).....	52
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan.....	59
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan.....	62
3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas	69
3.4 Neraca Massa	72
3.4.1 Neraca Massa Total	72
3.4.2 Neraca Massa Alat.....	72
3.5 Neraca Panas	77
3.5.1 Neraca Panas Total	77
3.5.2 Neraca Panas Alat.....	77
BAB IV TATA LETAK PABRIK	81
4.1 Lokasi Pabrik	81
4.2 Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>)	87
4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (<i>Machines Layout</i>)	91
4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk.....	93
4.3.2 Aliran Udara.....	93
4.3.3 Pencahayaan.....	93
4.3.5 <i>Maintenance</i>	94
4.3.6 Jarak Antara Alat Proses.....	94
4.4 Organisasi Perusahaan	95
4.4.1 Bentuk Perusahaan	95
4.4.2 Struktur Perusahaan.....	97
4.4.3 Uraian Tugas, Wewenang, dan Tanggung Jawab	99
4.4.4 Pengaturan Jam Kerja	110
4.4.5 Jumlah Karyawan dan Tingkat Pendidikan	113
4.4.6 Sistem Gaji Karyawan	116
4.4.7 Fasilitas Dan Hak Karyawan.....	118

BAB V UTILITAS	124
5.1 Unit Penyedia Dan Pengolahan Air (<i>Water Treatment System</i>)	128
5.1.1 Unit Penyediaan Air	129
5.1.2 Unit Pengolahan Air	135
5.2 Unit Pembangkit <i>Steam</i> (<i>Steam Generation System</i>)	143
5.3 Unit Pengolahan Pendingin (<i>Cooling Water System</i>)	145
5.4 Unit Pembangkit Listrik (<i>Power Plant System</i>)	146
5.5 Unit Penyedia Udara Tekan (<i>Instrumen Air System</i>)	150
5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar (<i>Fuel Supply System</i>)	151
5.7 Unit Pengolahan Limbah (<i>Wastewater Treatment Plant</i>)	152
5.8 Spesifikasi Alat Utilitas	153
5.8.1 Spesifikasi Alat Unit Pengolahan Air Bersih	153
5.8.2 Spesifikasi Alat Unit Pengolahan Air Domestik dan <i>Service</i>	156
5.8.3 Spesifikasi Alat Unit Pengolahan Air <i>Steam</i>	157
5.8.4 Spesifikasi Alat Unit Penyedia Air Pendingin	159
5.8.5 Spesifikasi Alat Unit Udara Tekan	160
5.8.6 Spesifikasi Alat Unit Penyedia Bahan Bakar	161
5.8.7 Spesifikasi Pompa Utilitas	161
BAB VI EVALUASI EKONOMI	170
6.1 Penaksiran Harga Alat	172
6.2 Dasar Perhitungan	181
6.3 Perhitungan Biaya	181
6.3.1 Modal (<i>Capital Investment</i>)	181
6.3.2 Biaya Produksi (<i>Manufacturing Cost</i>)	184
6.3.3 Pengeluaran Umum (<i>General Expenses</i>)	185
6.4 Analisa Keuntungan	186
6.5 Analisis Risiko Pabrik	187
6.6 Analisa Kelayakan	191
6.6.1 <i>Return On Investment</i> (ROI)	191
6.6.2 <i>Pay Out Time</i> (POT)	192
6.6.3 <i>Break Even Point</i> (BEP)	193
6.6.4 <i>Shut Down Point</i> (SDP)	195
6.6.5 <i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCFRR)	195
6.7 Hasil Analisis	197

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	201
7.1 Kesimpulan.....	201
7.2 Saran.....	203
DAFTAR PUSTAKA.....	205

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Produksi Karboksimetil Selulosa atau CMC	4
Tabel 1. 2 Data Impor Karboksimetil Selulosa atau CMC di Indonesia	5
Tabel 1. 3 Data Ekspor Karboksimetil Selulosa atau CMC di Indonesia	6
Tabel 1. 4 Data Kebutuhan Karboksimetil Selulosa atau CMC	8
Tabel 1. 5 Data Perusahaan Karboksimetil Selulosa Di Dalam dan Di Luar Negeri	10
Tabel 1. 6 Data Impor Karboksimetil Selulosa atau CMC di Luar Negeri.....	10
Tabel 1. 7 Perbandingan Proses Yang Akan Digunakan	20
Tabel 1. 8 Nilai ΔH° f Masing-Masing Senyawa	24
Tabel 1. 9 Nilai ΔG° f Masing-Masing Senyawa	26
Tabel 1. 10 Kinetika Reaksi Alkalisasi	31
Tabel 1. 11 Kinetika Reaksi Eterifikasi	31
Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor Alkalisasi (R-01)	49
Tabel 3. 2 Spesifikasi Reaktor Eterifikasi (R-02).....	51
Tabel 3. 3 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-01).....	52
Tabel 3. 4 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-02).....	54
Tabel 3. 5 Spesifikasi <i>Mixer</i> (M-03).....	55
Tabel 3. 6 Spesifikasi <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RDVF-01)	56
Tabel 3. 7 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	57
Tabel 3. 8 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM-01).....	58
Tabel 3. 9 Spesifikasi <i>Vibrating Screener</i> (VS-01).....	58
Tabel 3. 10 Spesifikasi Filter Udara (FL-01)	59
Tabel 3. 11 Spesifikasi Blower Udara (BL-01).....	59
Tabel 3. 12 Spesifikasi Tangki Penyimpanan (T-01)	60
Tabel 3. 13 Spesifikasi Silo Penyimpanan	60
Tabel 3. 14 Spesifikasi Silo Penyimpanan (Lanjutan).....	61
Tabel 3. 15 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i>	62
Tabel 3. 16 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (Lanjutan).....	63
Tabel 3. 17 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (Lanjutan).....	64
Tabel 3. 18 Spesifikasi <i>Cooling Screw Conveyor</i> (CSC-01)	64
Tabel 3. 19 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-01).....	65
Tabel 3. 20 Spesifikasi Pompa	66
Tabel 3. 21 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)	67
Tabel 3. 22 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)	68
Tabel 3. 23 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)	69
Tabel 3. 24 Spesifikasi <i>Heater</i> (HT-01).....	69
Tabel 3. 25 Spesifikasi <i>Heater</i> Udara (HT-02)	70
Tabel 3. 26 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CL-01).....	71

Tabel 3. 27 Neraca Massa Total	72
Tabel 3. 28 Neraca Massa <i>Mixer</i> (M-01)	73
Tabel 3. 29 Neraca Massa <i>Mixer</i> (M-02)	73
Tabel 3. 30 Neraca Massa RATB/CSTR (R-01)	73
Tabel 3. 31 Neraca Massa <i>Mixer</i> (M-03)	74
Tabel 3. 32 Neraca Massa RATB/CSTR (R-02)	74
Tabel 3. 33 Neraca Massa <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RDVF-01)	75
Tabel 3. 34 Neraca Massa <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	75
Tabel 3. 35 Neraca Massa <i>Ball Mill</i> (BM-01)	76
Tabel 3. 36 Neraca Massa <i>Vibrating Screener</i> (VS-01)	76
Tabel 3. 37 Neraca Panas Total	77
Tabel 3. 38 Neraca Panas <i>Mixer</i> (M-01)	77
Tabel 3. 39 Neraca Panas <i>Mixer</i> (M-02)	78
Tabel 3. 40 Neraca Panas <i>Mixer</i> (M-03)	78
Tabel 3. 41 Neraca Panas RATB/CSTR (R-01)	78
Tabel 3. 42 Neraca Panas RATB/CSTR (R-02)	78
Tabel 3. 43 Neraca Panas <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RDVF-01)	79
Tabel 3. 44 Neraca Panas <i>Rotary Dryer</i> (RD-01)	79
Tabel 3. 45 Neraca Panas <i>Ball Mill</i> (BM-01)	79
Tabel 3. 46 Neraca Panas <i>Vibrating Screener</i> (VS-01)	79
Tabel 3. 47 Neraca Panas <i>Heater</i> (HT-01)	79
Tabel 3. 48 Neraca Panas <i>Heater</i> Udara (HT-02)	80
Tabel 3. 49 Neraca Panas <i>Cooler</i> (CL-01)	80
Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik Karboksimetil Selulosa	91
Tabel 4. 2 Jadwal Jam Kerja Karyawan <i>Non-Shift</i>	111
Tabel 4. 3 Jadwal Jam Kerja Karyawan <i>Shift</i>	112
Tabel 4. 4 Jadwal Kerja Setiap Kelompok	113
Tabel 4. 5 Jadwal Kerja Setiap Kelompok (Lanjutan)	113
Tabel 4. 6 Tingkat Pendidikan Tenaga Kerja	114
Tabel 4. 7 Gaji Tenaga Kerja	116
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Proses	132
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin	133
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air <i>Steam</i>	135
Tabel 5. 4 Kebutuhan <i>Boiler</i> (BO-01)	143
Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Alat Proses	146
Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas	147
Tabel 5. 7 Kebutuhan Listrik Seluruh Unit Pabrik	149
Tabel 5. 8 Spesifikasi <i>Screening</i> Utilitas (SCR-01)	153
Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak Pengolahan Air	153
Tabel 5. 10 Spesifikasi Tangki Pengolahan Air	154

Tabel 5. 11 Spesifikasi Tangki Flokulator (Penggumpal)	154
Tabel 5. 12 Spesifikasi <i>Sand Filter</i>	154
Tabel 5. 13 Spesifikasi <i>Carbon Filter</i>	155
Tabel 5. 14 Spesifikasi Klarifier	155
Tabel 5. 15 Spesifikasi Tangki Air Domestik dan <i>Service</i>	156
Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki Klorinasi	156
Tabel 5. 17 Spesifikasi Pengolahan <i>Steam</i>	157
Tabel 5. 18 Spesifikasi <i>Kation Exchanger</i> (KE-01)	157
Tabel 5. 19 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-01)	158
Tabel 5. 20 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DE-01)	158
Tabel 5. 21 Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-01)	159
Tabel 5. 22 Spesifikasi Turbin (TB-01).....	159
Tabel 5. 23 Spesifikasi Bak Pengolahan Air Pendingin	159
Tabel 5. 24 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-01)	160
Tabel 5. 25 Spesifikasi Kompresor.....	160
Tabel 5. 26 Spesifikasi Tangki <i>Silica Gel</i> (TSG-01).....	161
Tabel 5. 27 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (TBB-01)	161
Tabel 5. 28 Spesifikasi Pompa Utilitas	161
Tabel 5. 29 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)	162
Tabel 5. 30 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan).....	163
Tabel 5. 31 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)	164
Tabel 5. 32 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)	165
Tabel 5. 33 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)	166
Tabel 5. 34 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)	167
Tabel 5. 35 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)	168
Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat Pada Tahun 1963 – 2036	173
Tabel 6. 2 Harga Alat Proses.....	176
Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas.....	178
Tabel 6. 4 <i>Physical Plant Cost</i> (PPC).....	181
Tabel 6. 5 <i>Direct Plant Cost</i> (DPC).....	182
Tabel 6. 6 <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	183
Tabel 6. 7 <i>Working Capital Investment</i> (WCI)	183
Tabel 6. 8 <i>Direct Manufacturing Cost</i> (DMC).....	184
Tabel 6. 9 <i>Indirect Manufacturing Cost</i> (IMC).....	185
Tabel 6. 10 <i>Fixed Manufacturing Cost</i> (FMC)	185
Tabel 6. 11 <i>Total Manufacturing Cost</i> (MC)	185
Tabel 6. 12 <i>Total General Expense</i> (GE).....	186
Tabel 6. 13 <i>Total Production Cost</i> (Biaya Produksi)	186
Tabel 6. 14 Analisis Risiko Pabrik	188
Tabel 6. 15 <i>Annual Fixed Manufacturing Cost</i> (Fa).....	193

Tabel 6. 16 <i>Annual Variabel Cost</i> (Va)	194
Tabel 6. 17 <i>Annual Regulated Expenses</i> (Ra)	194
Tabel 6. 18 Kesimpulan Evaluasi Ekonomi	199

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir CMC Kualitatif	44
Gambar 3. 2 Diagram Alir CMC Kuantitatif	45
Gambar 4.1 Lokasi Pabrik Karboksimetil Selulosa.....	81
Gambar 4.2 Tata Letak Pabrik Karboksimetil Selulosa.....	90
Gambar 4.3 Tata Letak Alat Proses Produksi Karboksimetil Selulosa	95
Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan.....	99
Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas Unit Pengolahan Air	127
Gambar 6. 1 Grafik Regresi Linear Kenaikan Index	175
Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi	197

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR	208
LAMPIRAN B. <i>PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM</i> (PEFD).....	262
LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN	264

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	: Temperature, °C
D	: Diameter, m
H	: Tinggi, m
P	: Tekanan, psia
μ	: Viskositas, cP
ρ	: Densitas, kg/m ³
Q	: Kebutuhan Kalor, Kj/Jam
A	: Luas Penampang, m ²
V	: Volume, m ³
C	: Konsentrasi, kmol/m ³
t	: Waktu, jam
M	: Massa, kg
Fv	: Laju Volumetrik, m ³
R	: Jari-Jari, in
P	: <i>Power Motor</i> , Hp
ts	: Tebal <i>Shell</i> , in
ΔP	: <i>Pressure Drop</i> , psia
ID	: <i>Inside Diameter</i> , in
OD	: <i>Outside Diameter</i> , in
th	: Tebal <i>Head</i> , in
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 *overall* HE, Btu/jam.ft².°F
 UC : Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada awal HE dipakai, Btu/jam.ft².°F
 hi : *Inside Film Coefficient*, Btu/jam.ft².°F
 ho : *Outside Film Coefficient*, Btu/jam.ft².°F
 P : Panjang, m
 l : Lebar, m
 x : Konversi, %
 E : Efisiensi Sambungan
 K : Konduktivitas Termal, Btu/jam.ft².°F
 k : Konstanta Kinetika Reaksi
 R : Tatapan Konstan Gas
 Fv : Laju Alir, m³/jam
 Sg : *Specific Gravity*
 BWG : *Birmingham Wire Gauge*
 LMTD : *Long Mean Temperature Different*, °F
 CMC : *Carboxymethyl Cellulose*/Karboksimetil Selulosa

ABSTRAK

Carboxymethyl Cellulose (CMC) merupakan polimer larut air yang diaplikasikan secara luas dalam berbagai sektor industri, seperti industri makanan sebagai pengental dan penstabil emulsi, industri farmasi sebagai pengikat tablet, serta industri kosmetik dan tekstil sebagai agen penahan air. Pabrik CMC ini dirancang untuk memenuhi tingginya permintaan pasar domestik maupun internasional dengan kapasitas produksi sebesar 4.000 ton/tahun. Pabrik ini direncanakan berdiri di Kawasan Industri Jl. Banten Lama, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Banten, di atas lahan seluas 46.530 m². Operasional pabrik berlangsung kontinu selama 24 jam sehari dan 330 hari setahun dengan dukungan 119 tenaga kerja. Proses sintesis CMC menerapkan tahapan alkalisasi dan eterifikasi secara berkesinambungan di dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Untuk mencapai target kapasitas tersebut, lini produksi membutuhkan suplai bahan baku spesifik per jam yang meliputi 301,4361 kg tepung selulosa, 69,8653 kg natrium hidroksida, 484,4644 kg aseton, dan 180,3804 kg sodium monokloroasetat. Kelancaran operasi pabrik didukung oleh unit utilitas yang mengelola kebutuhan air proses (465,0194 kg/jam), air pendingin (163,4471 kg/jam), air domestik (1.781,6153 kg/jam), serta air layanan umum (678 kg/jam). Unit ini juga memasok *saturated steam* sebanyak 204,2738 kg/jam, udara tekan sebesar 63,2102 m³/jam, dan daya listrik sebesar 225,3422 kW yang bersumber dari PLN. Evaluasi finansial menunjukkan parameter ekonomi yang sangat positif, dengan perolehan keuntungan tahunan sebelum pajak sebesar Rp50.213.044.523,93 dan laba bersih pascapajak 22% mencapai Rp39.166.174.728,66. Indikator kelayakan modal mencatat nilai *Return on Investment* (ROI) sebesar 16,14% (sebelum pajak) dan 12,59 (setelah pajak), dengan *Pay Out Time* (POT) berturut-turut selama 4,14 tahun dan 4,86 tahun. Lebih lanjut, analisis titik impas menghasilkan *Break Even Point* (BEP) sebesar 55,23%, *Shut Down Point* (SDP) pada 27,50%, serta *Discounted Cash Flow Rate* (DCFRR) mencapai 12,12%. Berdasarkan kalkulasi teknis dan estimasi keekonomian tersebut, proyek pendirian pabrik CMC ini dinilai sangat prospektif, menguntungkan, dan layak untuk direalisasikan di Indonesia.

Kata Kunci: Alkalisasi, *Carboxymethyl Cellulose*, Eterifikasi, RATB, Selulosa.

ABSTRACT

Carboxymethyl Cellulose (CMC) is a water-soluble polymer widely used across various industrial sectors, serving as a thickener and emulsion stabilizer in the food industry, a tablet binder in pharmaceuticals, and a water-retention agent in cosmetics and textiles. This CMC manufacturing plant is designed to meet the high demand of both domestic and international markets with a production capacity of 4,000 tons/year. The plant is planned to be established in the Industrial Area of Jl. Banten Lama, Kramatwatu District, Serang Regency, Banten, occupying a total land area of 46,530 m². The plant will operate continuously 24 hours a day and 330 days a year, supported by a workforce of 119 employees. The synthesis of CMC employs sequential alkalization and etherification processes conducted within a Continuous Stirred-Tank Reactor (CSTR). To achieve the target capacity, the production line requires a specific hourly raw material supply consisting of 301.4361 kg of cellulose powder, 69.8653 kg of sodium hydroxide, 484.4644 kg of acetone, and 180.3804 kg of sodium monochloroacetate. Smooth plant operations are supported by a utility unit managing the requirements for process water (465.0194 kg/h), cooling water (163.4471 kg/h), domestic water (1,781.6153 kg/h), and service water (678 kg/h). This unit also supplies saturated steam at 204.2738 kg/h, compressed air at 63.2102m³/h, and electrical power of 225.3422 kW sourced from the national grid (PLN). Financial evaluation shows highly positive economic parameters, yielding an annual profit before tax of IDR50,213,044,523.93 and a net profit after a 22% tax deduction of IDR39,166,174,728.66. Capital feasibility indicators record a Return on Investment (ROI) of 16.14% (before tax) and 12.59% (after tax), with a Pay Out Time (POT) of 4.14 years and 4.86 years, respectively. Furthermore, break-even analysis indicates a Break-Even Point (BEP) of 55.23%, a Shut-Down Point (SDP) of 27.50%, and a Discounted Cash Flow Rate (DCFRR) of 12.12%. Based on these technical calculations and economic estimations, the CMC plant construction project is deemed highly prospective, profitable, and viable for implementation in Indonesia.

Keywords: Alkalization, Carboxymethyl Cellulose, Cellulose, CSTR, Etherification.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer selulosa merupakan salah satu bahan baku terbarukan utama yang memiliki potensi besar dalam industri kimia modern karena sifatnya yang melimpah, *biodegradable*, serta mudah dimodifikasi secara kimia untuk menghasilkan berbagai turunan bernilai tambah. Salah satu turunan penting dari selulosa adalah karboksimetil selulosa (CMC), yaitu eter selulosa anionik yang terbentuk melalui substitusi gugus hidroksil pada selulosa dengan gugus karboksimetil. Senyawa ini dikenal memiliki kelarutan tinggi dalam air, viskositas yang dapat dikendalikan, serta beragam aplikasi sebagai agen pengental, penstabil, pembentuk film, dan pengikat dalam berbagai industri seperti farmasi, kosmetik, kertas, dan tekstil (Rahman *et al.*, 2021).

Sejarah pengembangan karboksimetil selulosa dimulai sejak awal abad ke-20 ketika senyawa ini pertama kali disintesis sekitar tahun 1918 dan mulai diproduksi secara komersial di Jerman pada dekade 1920-an (Rahman *et al.*, 2021). Seiring perkembangan teknologi, karboksimetil selulosa semakin banyak digunakan karena sifat fungsionalnya yang unggul serta kemampuannya menggantikan bahan sintetis yang kurang ramah lingkungan. Dalam perkembangannya, kebutuhan global terhadap karboksimetil selulosa meningkat tajam, terutama untuk sektor makanan, farmasi, dan industri pengeboran minyak (Boruvkova & Wiener, 2011).

Selulosa merupakan bahan baku utama dalam produksi karboksimetil selulosa (CMC) karena memiliki gugus hidroksil yang reaktif dan mudah dimodifikasi secara kimia. Pada industri CMC, selulosa umumnya digunakan dalam bentuk serbuk (*cellulose powder*) dengan tingkat kemurnian tinggi untuk menjamin keseragaman bahan baku dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Penggunaan selulosa *powder* juga dapat meminimalkan kandungan pengotor seperti lignin dan hemiselulosa yang berpotensi mengganggu reaksi karboksimetilasi. Selain itu, bentuk serbuk memberikan luas permukaan yang lebih besar sehingga mempermudah penetrasi reagen selama proses modifikasi kimia dan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih konsisten (Rahman *et al.*, 2021).

Secara umum, proses sintesis karboksimetil selulosa melibatkan dua tahap utama, yaitu alkalisasi (mercerisasi) selulosa untuk membentuk alkali selulosa, diikuti dengan tahap eterifikasi menggunakan natrium monokloroasetat (SMCA) sebagai agen karboksimetilasi dalam pelarut organik seperti isopropanol atau pelarut lainnya (Boruvkova & Wiener, 2011). Parameter operasi seperti konsentrasi basa, rasio bahan, suhu, waktu reaksi, serta proses pencucian dan pengeringan berperan penting dalam menentukan *degree of substitution* (DS), viskositas, dan kualitas produk akhir (Yuangsawad *et al.*, 2023).

Dari sisi ekonomi dan pasar, karboksimetil selulosa merupakan komoditas bernilai tinggi. Selain memberikan manfaat ekonomi, pengembangan produksi karboksimetil selulosa dari sumber selulosa lokal juga memiliki dampak positif terhadap lingkungan, seperti pengurangan limbah biomassa dan penerapan prinsip ekonomi sirkular. Oleh karena itu, perancangan pabrik karboksimetil selulosa

berbasis selulosa di Indonesia menjadi langkah strategis yang tidak hanya berfokus pada efisiensi dan kelayakan teknis, tetapi juga mendukung kebijakan pemerintah dalam mendorong pengembangan industri hijau dan berkelanjutan (Mohammad Zainol *et al.*, 2021).

Jumlah industri karboksimetil selulosa (CMC) di dalam negeri masih relatif terbatas. Di sisi lain, permintaan CMC global terus meningkat seiring dengan semakin luasnya pemanfaatan senyawa ini pada industri pangan, farmasi, kosmetik, tekstil, deterjen, serta minyak dan gas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang yang besar bagi Indonesia untuk mengembangkan industri CMC berorientasi ekspor dengan memanfaatkan sumber daya lokal yang tersedia. Kondisi tersebut memberikan peluang untuk mengembangkan industri CMC yang mampu mengonversi selulosa menjadi produk dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi (Ramakrishnan *et al.*, 2024)

Pendirian pabrik karboksimetil selulosa di Indonesia diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah sumber daya alam berbasis selulosa serta memperkuat daya saing industri kimia nasional di pasar global. Dengan mempertimbangkan bahwa kebutuhan karboksimetil selulosa dalam negeri telah terpenuhi, produksi pabrik ini diarahkan untuk memenuhi permintaan pasar internasional yang terus berkembang, sehingga berpotensi meningkatkan perolehan devisa negara melalui ekspor produk bernilai tambah tinggi. Melalui pra-rancangan pabrik ini, dilakukan kajian komprehensif yang meliputi pemilihan bahan baku, penentuan kapasitas produksi, perancangan proses dan peralatan, analisis keekonomian, serta evaluasi aspek keselamatan dan lingkungan. Hasil perancangan diharapkan dapat menjadi

dasar teknis dan ekonomis bagi pengembangan industri karboksimetil selulosa yang efisien, berkelanjutan, dan berorientasi ekspor guna memenuhi kebutuhan berbagai sektor industri di pasar internasional (Ramakrishnan *et al.*, 2024).

1.2 Penentuan Kapasitas Produk

Pendirian suatu pabrik bertujuan untuk memenuhi kebutuhan tertentu, seperti kebutuhan industri dalam negeri maupun luar negeri. Pemenuhan kebutuhan tersebut dipertimbangkan berdasarkan analisa *supply* dan *demand* yang meliputi proyeksi data impor, data produksi yang akan dihasilkan, data ekspor, dan data konsumsi. Setelah didapatkan hasil proyeksi pemenuhan kebutuhan pada tahun yang akan datang, dapat menentukan kapasitas pabrik yang tepat sehingga pabrik yang akan didirikan tidak rugi dan dapat menghasilkan keuntungan. Dalam penentuan kapasitas pabrik karboksimetil selulosa perlu dipertimbangkan beberapa faktor, antara lain yaitu:

1.2.1 Supply

a. Produksi

Menurut data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, berikut merupakan perusahaan dalam negeri yang berperan dalam memproduksi karboksimetil selulosa di Indonesia.

Tabel 1. 1 Data Produksi Karboksimetil Selulosa atau CMC

(Sumber: Kemenperin, 2025)

Nama Perusahaan	Ton/Tahun
PT. Arbe Chemindo	4.000

Berdasarkan data pabrik yang telah beroperasi di dalam negeri, kapasitas produksi CMC mencapai 4.000 ton/tahun.

b. Impor

Impor CMC didatangkan dari banyak negara namun dalam jumlah yang besar didatangkan dari negara India, United States, China, Jerman, Jepang, Brazil, Meksiko, Thailand, dan Kanada. Untuk jelasnya, perkembangan impor CMC Indonesia sejak tahun 2014 hingga 2025 dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 1. 2 Data Impor Karboksimetil Selulosa atau CMC di Indonesia

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2025)

Tahun	Tahun Ke	CMC (Ton)	Persentase Pertumbuhan (%)
2014	1	8.006,29	0%
2015	2	5.787,38	-38,34%
2016	3	5.003,16	-15,67%
2017	4	5.840,46	14,34%
2018	5	5.880,31	0,68%
2019	6	5.525,65	-6,42%
2020	7	5.737,41	3,69%
2021	8	6.338,86	9,49%
2022	9	7.445,94	14,87%
2023	10	6.947,20	-7,18%
2024	11	8.247,67	15,77%
2025	12	4.887,84	-68,74%
Total		75.648,19	-77,52%
Rata-Rata		6.304,02%	-6,46%

Dari Tabel 1.2 dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan proyeksi impor CMC di Indonesia pada tahun 2035. Pada tahap awal, metode regresi linear digunakan untuk memproyeksikan nilai impor pada tahun 2035. Namun, karena hasil yang diperoleh tidak menunjukkan signifikansi yang memadai, pendekatan tersebut kemudian diganti dengan metode estimasi berbasis persentase pertumbuhan guna memperoleh perkiraan nilai impor yang lebih representatif dan

akurat untuk tahun 2035. Berikut perkiraan nilai impor pada tahun 2035 dapat diperoleh dari persamaan yang dikemukakan oleh *Carl Friedrich Gauss* dibuku *Basic Econometrics* (Gurajati & Porter, 2009):

$$m = P(1 + i)^n \quad (1.1)$$

Keterangan =

m = Jumlah impor pada tahun 2035 (ton)

P = Jumlah impor pada tahun 2025 (ton)

i = Rata-rata kenaikan impor tiap tahun (%)

n = Selisih tahun

Sehingga,

$$m = P(1 + i)^n$$

$$m = 4.887,84 \text{ ton} (1 + (-6,46\%))^{(2035-2025)}$$

$$m = 4.887,84 \text{ ton} (1 + (-6,46\%))^{10}$$

$$m = 2.506,59 \text{ ton}$$

1.2.2 Demand

a. Ekspor

Berikut merupakan data ekspor CMC di Indonesia dari tahun 2014-2025 yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. 3 Data Ekspor Karboksimetil Selulosa atau CMC di Indonesia

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2025)

Tahun	Tahun Ke	CMC (Ton)	Persentase Pertumbuhan (%)
2014	1	227,77	0%
2015	2	185,70	-22,65%
2016	3	204,25	9,08%

Tahun	Tahun Ke	CMC (Ton)	Persentase Pertumbuhan (%)
2017	4	114,47	-78,90%
2018	5	155,76	26,71%
2019	6	111,97	-39,12%
2020	7	157,34	28,84%
2021	8	194,64	19,16%
2022	9	195,10	0,24%
2023	10	159,42	-22,39%
2024	11	91,07	-75,05%
2025	12	119,50	23,79%
Total		1.916,72	-130,29%
Rata-rata		159,73	-10,86%

Dari Tabel 1.3 dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan proyeksi ekspor CMC di Indonesia pada tahun 2035. Perkiraan nilai ekspor pada tahun 2035 dapat diperoleh dari persamaan yang dikemukakan oleh *Carl Friedrich Gauss* dibuku *Basic Econometrics* (Gurajati & Porter, 2009):

$$m = P(1 + i)^n \quad (1.2)$$

Keterangan =

m = Jumlah ekspor pada tahun 2035 (ton)

P = Jumlah ekspor pada tahun 2025 (ton)

i = Rata-rata kenaikan ekspor tiap tahun (%)

n = Selisih tahun

Sehingga,

$$m = P(1 + i)^n$$

$$m = 119,50 \text{ ton} (1 + (-10,86\%))^{(2035-2025)}$$

$$m = 119,50 \text{ ton} (1 + (-10,86\%))^{10}$$

$$m = 37,86 \text{ ton}$$

b. Konsumsi

Konsumsi karboksimetil selulosa di Indonesia diperoleh dari data berbagai sektor industri dalam negeri yang menggunakan karboksimetil selulosa sebagai salah satu bahan pendukung dalam proses produksinya.

Tabel 1. 4 Data Kebutuhan Karboksimetil Selulosa atau CMC

Nama Perusahaan	Ton/Tahun
PT. Indofood CBP Sukses Makmur	61
PT. Unilever	1.320
Total	1.381

1.2.3 Kapasitas Produk Komersial

Untuk menetapkan kapasitas produksi karboksimetil selulosa, terlebih dahulu perlu dilakukan analisis terhadap potensi pasar, baik di dalam negeri maupun di luar negeri, pada tahun rencana produksi 2035. Analisis ini didasarkan pada perbandingan antara *supply* dan *demand*. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perhitungan peluang produksi karboksimetil selulosa pada tahun 2035 guna menentukan kapasitas pabrik yang paling efisien dan sesuai dengan kebutuhan pasar. Berdasarkan hal tersebut dihitung kapasitas pabrik dengan rumus yang dikemukakan oleh *Carl Friedrich Gauss* dibuku *Basic Econometrics* (Gurajati & Porter, 2009):

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5 \quad (1.3)$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \quad (1.4)$$

Dengan keterangan :

m1 = Nilai impor tahun 2035 (ton)

m2 = Nilai produksi pabrik di dalam negeri

m3 = Peluang kapasitas pabrik yang akan didirikan

m4 = Nilai ekspor tahun 2035 (ton)

m5 = Nilai konsumsi dalam negeri

Berdasarkan persamaan di atas, dapat diketahui hubungan antara variabel impor, produksi dalam negeri, ekspor, dan konsumsi dalam negeri terhadap kapasitas pabrik yang akan didirikan. Dari hubungan tersebut, dapat dihitung peluang kapasitas pabrik baru dengan mempertimbangkan keseimbangan antara *demand* dan *supply*.

Dengan kata lain, nilai peluang dapat diperoleh melalui selisih antara total permintaan (*demand*) dan total penawaran (*supply*), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Peluang} = \text{Demand} - \text{Supply} \quad (1.5)$$

Peluang = (Nilai ekspor tahun 2035 + Nilai konsumsi pabrik dalam negeri) - (Nilai impor tahun 2035 + Nilai produksi pabrik dalam negeri)

$$\text{Peluang} = (37,86 + 1.381) \text{ ton/tahun} - (2.506,59 + 4.000) \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Peluang} = (1.418,86) \text{ ton/tahun} - (6.506,59) \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Peluang} = - 5.087,73 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan hasil analisis peluang kapasitas produksi karboksimetil selulosa (CMC), diperoleh nilai sebesar -5.087,73 ton/tahun. Nilai negatif tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan CMC di dalam negeri telah terpenuhi, sehingga Indonesia tidak memiliki kekurangan pasokan. Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, kapasitas pabrik CMC yang direncanakan untuk tahun 2035 ditetapkan sebesar 4.000 ton/tahun.

Tabel 1. 5 Data Perusahaan Karboksimetil Selulosa Di Dalam dan Di Luar Negeri

Nama Perusahaan	Lokasi Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT. Arbe Chemindo	Indonesia	4.000
Dongying linguang New Material Co.,	China	14.000
Anqiu Eagle Cellulose Co., Ltd	China	28.000
Amtex	Meksiko	28.000
Chongqing Lihong Fine Chemicals Co.,Ltd	China	43.400
CMC Manufacturing Factory	China	70.000
Mare Austria Company	Austria	450.000

Penentuan kapasitas ini juga disesuaikan dengan kapasitas produksi pabrik CMC yang telah beroperasi di Indonesia, yakni sebesar 4.000 ton/tahun. Pendirian pabrik ini ditujukan untuk memperluas pangsa pasar ke tingkat internasional melalui kegiatan ekspor. Sebagai dasar pertimbangan dalam analisis pemenuhan pasar internasional, data mengenai kebutuhan CMC di luar negeri pada tahun terakhir (2024) diperoleh dari *World Integrated Trade Solution* (WITS) dengan rincian sebagai berikut:

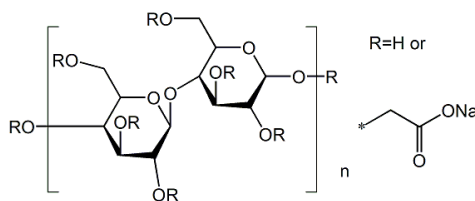
Tabel 1. 6 Data Impor Karboksimetil Selulosa atau CMC di Luar Negeri

Negara	Rata-Rata Ton/Tahun
Singapura	1.722,69
Denmark	2.072,84
Malaysia	2.323,16
Turki	2.604,65
Australia	2.725,27
Prancis	2.953,47
Nigeria	3.571,52
Pakistan	3.755,65
Total	21.729,25

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Karboksimetil Selulosa

Karboksimetil selulosa, yang sering disingkat CMC, merupakan hasil modifikasi dari selulosa alami melalui proses kimia (turunan selulosa). Karboksimetil selulosa adalah senyawa polimer bermuatan negatif (anionik) yang memiliki sifat *biodegradable*, sehingga ramah terhadap lingkungan karena dapat terurai secara alami. Zat ini memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun, menjadikannya aman digunakan dalam berbagai bidang industri. Struktur karboksimetil selulosa atau CMC adalah sebagai berikut :



Gambar 1. 1 Struktur Karboksimetil Selulosa

(Sumber: Selleckchem.com, 2026)

Karboksimetil selulosa juga menunjukkan stabilitas yang baik pada rentang pH luas, yakni antara pH 2 hingga 10, dengan pH optimum sekitar 6,5-8,0. Selain itu, senyawa ini larut dengan baik dalam air, sehingga karena sifat kelarutannya tersebut, karboksimetil selulosa banyak digunakan sebagai bahan tambahan (aditif) yang mampu membentuk larutan kental yang digunakan sebagai pengental, penstabil, atau pengemulsi dalam berbagai aplikasi produk makanan maupun non-makanan. Contoh dari pengaplikasian karboksimetil selulosa untuk industri makanan, adalah sebagai tambahan pengental es krim, saus, *marshmallow*, mie

instan, dan minuman. Sementara untuk produk non-makanan meliputi pasta gigi, detergen, kertas, dan cat.

Kualitas karboksimetil selulosa yang dihasilkan dapat dilihat dari beberapa parameter yaitu. Nilai derajat substitusi (DS), pH, Viskositas, gugus fungsi dan kemurnian. DS merupakan faktor utama kelarutan karboksimetil selulosa dalam air (Waring & Person, 2001). Viskositas dan kemurnian karboksimetil selulosa juga memegang peranan penting, karena karboksimetil selulosa berfungsi sebagai pengental atau pengemulsi (Pitaloka *et al.*, 2015). DS merupakan jumlah rata-rata dari gugus hidroksil yang tersubstitusi per unit anhidroglukosa.

Menurut SNI 06-3726-1995, terdapat 3 karakteristik yang menentukan kualitas karboksimetil selulosa, diantaranya: derajat substitusi, kemurnian, dan viskositas. Berdasarkan karakteristik tersebut, Kualitas karboksimetil selulosa terbagi menjadi 2, yaitu: [1] mutu I yang dapat diaplikasikan pada industri makanan dan farmasi; dan [2] mutu II yang diaplikasikan pada industri tekstil, kertas, deterjen, dan perminyakan. Karboksimetil selulosa dengan kualitas mutu I mensyaratkan tingkat kemurnian lebih dari 55%, derajat substitusi 0,7-1,2 dan viskositas > 26 cP. Tingkat kemurnian yang sangat tinggi ini menjadi tantangan dalam mengembangkan karboksimetil selulosa mutu I.

1.3.2 Selulosa

Bahan dasar yang digunakan dalam proses sintesis karboksimetil selulosa (CMC) adalah selulosa. Selulosa merupakan polimer alami yang tersusun atas rantai panjang glukosa dengan struktur linier dan berat molekul tinggi. Senyawa ini tergolong biopolimer yang melimpah di alam, terutama pada dinding sel tumbuhan.

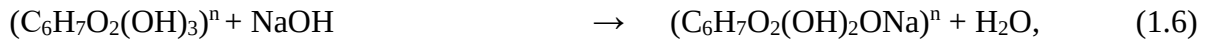
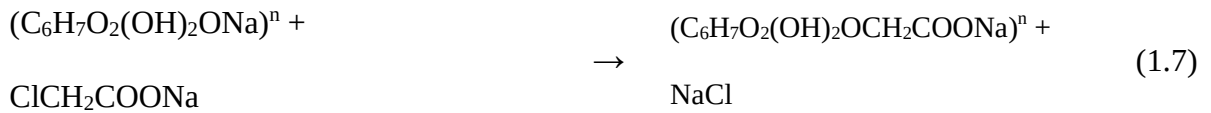
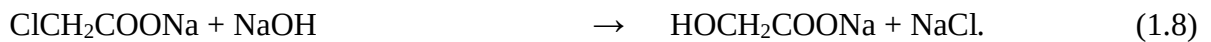
Selulosa merupakan salah satu komponen utama penyusun dinding sel tanaman, bersama dengan hemiselulosa dan lignin, yang berperan memberikan kekuatan serta kekakuan pada jaringan tanaman. Selain bersifat terbarukan (*renewable*) karena dapat diperoleh dari sumber hayati seperti kayu, kapas, atau limbah pertanian, selulosa juga memiliki kemampuan untuk didaur ulang (*recyclable*) sehingga ramah terhadap lingkungan.

Sifat-sifat tersebut yang menjadikan selulosa sebagai bahan yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi berbagai turunan kimia, salah satunya karboksimetil selulosa, yang memiliki nilai tambah yang tinggi serta aplikasi yang luas di berbagai bidang industri.

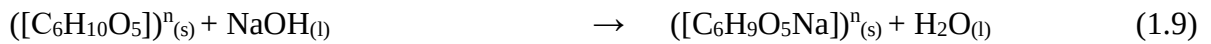
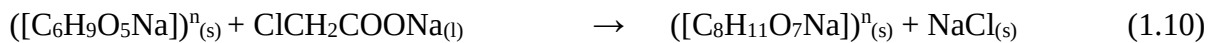
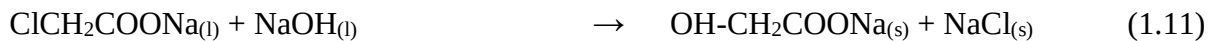
1.3.3 Proses Produksi

Pada dasarnya, seluruh proses pembuatan karboksimetil selulosa berlangsung dalam dua tahap reaksi pokok. Tahap pertama adalah proses alkalilasi terhadap selulosa (aktivasi selulosa) menggunakan larutan NaOH. Dalam tahap ini, gugus-gugus $-OH$ yang ada pada molekul selulosa akan aktif. Selanjutnya, pada tahap kedua dilakukan reaksi eterifikasi (karboksimetilasi), dimana selulosa hasil aktivasi tersebut direaksikan dengan reagen asam monokloroasetat. Dalam reaksi ini, sebagian gugus $-OH$ pada rantai selulosa akan termodifikasi menjadi gugus karboksimetil ($-CH_2COONa$), sehingga terbentuk karboksimetil selulosa (CMC). Modifikasi ini menyebabkan karboksimetil selulosa memiliki kelarutan tinggi dalam air serta meningkatkan kemampuan mengikat air dan membentuk viskositas. Dalam proses ini, reaksi utama menghasilkan karboksimetil selulosa, natrium

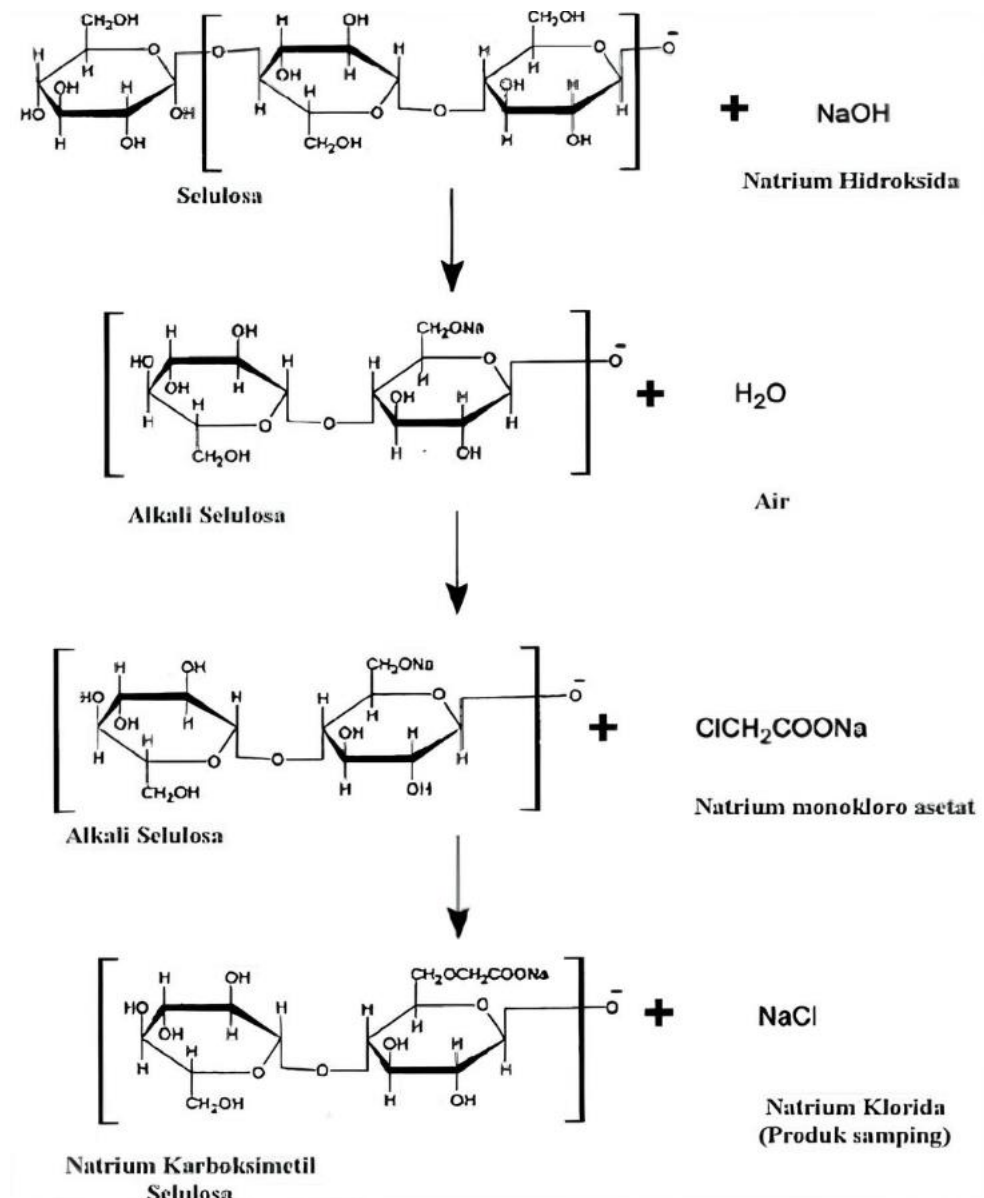
klorida, dan air, tetapi secara bersamaan dapat terjadi reaksi samping berupa hidrolisis SMCA yang menghasilkan natrium glikolat serta NaCl tambahan.



Atau jika disederhanakan menjadi:



Dimana reaksi 1.6 merepresentasikan tahap alkalisasi, yaitu proses pembentukan alkali-selulosa sebagai prasyarat terjadinya eterifikasi. Selanjutnya, reaksi 1.7 menggambarkan reaksi eterifikasi, di mana alkali-selulosa bereaksi dengan agen karboksimetilasi untuk menghasilkan karboksimetil selulosa. Sementara itu, reaksi 1.8 merupakan reaksi samping yang berlangsung bersamaan dengan tahap eterifikasi, dan berkontribusi pada pembentukan produk samping selama proses karboksimetilasi berlangsung.



Gambar 1. 2 Mekanisme Reaksi Proses Pembentukan Karboksimetil Selulosa

(Sumber: Panyathip *et al.*, 2025)

Pemilihan proses untuk produksi karboksimetil selulosa berdasarkan perbandingan 3 (tiga) paten, yaitu paten German Batch (1998), Wyandotte (1950), dan Russel Nelson (1967).

1. Proses German Batch

Selulosa yang telah digiling dibasahi dengan alkohol yang digunakan sebagai media reaksi, dan umumnya alkohol tersebut berupa etanol (EtOH) atau isopropanol (IPA). Kemudian, larutan natrium hidroksida (NaOH) dalam air ditambahkan ke dalam *pulp* selulosa untuk melakukan mercerisasi. Derajat mercerisasi tergantung pada jumlah NaOH yang digunakan. Selama proses mercerisasi, *pulp* selulosa diaduk dan suhunya diatur pada kisaran 10–20°C.

Jika etanol digunakan sebagai media, kadar kering *pulp* selulosa selama mercerisasi biasanya berada antara 20–40%. Dalam metode suspensi (*slurry method*), IPA merupakan zat yang paling sering digunakan, dan kadar kering selama mercerisasi umumnya berada di antara 10–17%.

Selanjutnya, asam monokloroasetat (MCA) ditambahkan ke *pulp* selulosa yang telah dimerserkan, dan setelah diaduk, suhu dinaikkan menjadi 50–75°C, sehingga MCA bereaksi dengan gugus hidroksil bebas pada selulosa, membentuk karboksimetil selulosa (CMC) yang larut dalam air. Natrium klorida (NaCl) dan natrium glikolat dihasilkan sebagai produk samping dari reaksi ini.

Karboksimetil selulosa teknis dapat dibiarkan sedikit bersifat basa, atau dapat juga dinetralkan. Secara umum, produk tersebut dinetralkan dan dikeringkan sebagaimana adanya (kualitas teknis), atau dicuci dengan larutan campuran alkohol-air (untuk kualitas murni) dan kemudian dikeringkan. Hasil akhirnya adalah garam natrium dari karboksimetil

selulosa. Derajat substitusi (DS) dari karboksimetil selulosa tergantung pada jumlah NaOH dan MCA yang digunakan.

Proses ini dikenal sebagai proses awal pembuatan *carboxymethyl cellulose* secara komersial yang mulai digunakan di Jerman pada tahun 1918, dan dikembangkan oleh perusahaan Kalle & Co di daerah Wiesbaden-Biebrich. Dalam sistem batch tersebut, produksi dimulai dengan mengalkalisasi *bleached sulfite pulp* menggunakan larutan NaOH hingga terbentuk alkali-selulosa. Bahan ini kemudian digiling dan direaksikan dengan natrium monokloroasetat dalam bentuk kering di *kneader* untuk menghasilkan karboksimetil selulosa serta natrium klorida sebagai produk samping. Sisa NaOH yang tidak bereaksi disesuaikan kadarnya melalui penambahan natrium bikarbonat.

Berdasarkan laporan NIIR (2018), proses ini umumnya memberikan tingkat konversi selulosa sebesar 60–70% dalam waktu 2 jam. Kondisi operasi pada 35–45°C dengan reaksi eksotermis dengan kemurnian produk 33–35%. Kelemahan utama adalah perlu peralatan-peralatan berat dalam jumlah besar yang memberatkan investasi untuk menghasilkan produk dengan kecepatan dan kualitas moderat.

2. Proses Wyandotte

Pada proses ini, selulosa yang telah digiling halus digunakan sebagai bahan awal. Proses pembentukan karboksimetil selulosa dilakukan secara berkelanjutan di dalam *rotary reactor* yang dibagi menjadi tiga bagian zona

kerja. Tahap di zona pertama adalah alkalisasi: larutan natrium hidroksida disemprotkan ke selulosa sehingga terbentuk alkali-selulosa.

Tahap berikutnya berlangsung di zona kedua, dimana bubur alkali-selulosa diberi semprotan asam monokloroasetat kering sehingga reaksi eterifikasi mulai menghasilkan karboksimetil selulosa. Reaksi tersebut kemudian dilanjutkan dan diselesaikan dalam zona ketiga. Setiap bagian reaktor mempertahankan waktu tinggal kira-kira satu jam, sehingga total proses membutuhkan sekitar 3 sampai 5 jam.

Pergerakan material dan pencampurannya terjadi karena gaya *tumbling* dari reaktor yang terus berputar. Ketika produk keluar dari reaktor, material harus mengalami tahap pemeraman selama 8 jam agar struktur kimianya menjadi lebih stabil. Setelah itu, massa produk dihancurkan kembali dan dikeringkan. Pada teknologi Wyandotte tipe kontinu, efisiensi konversi mencapai sekitar 80% (Thielking & Schmidt, 2006). Produk yang dihasilkan adalah *SCMC* dengan kemurnian 68% dan kadar air 5%. Produk akhirnya masih mengandung pengotor seperti natrium klorida, natrium glikolat, serta sebagian reaktan (selulosa) yang belum bereaksi (Waldeck *et al.*, 1950).

3. Proses Russel Nelson

Proses ini bekerja melalui dua tahapan utama, yaitu pembentukan alkali-selulosa dan reaksi eterifikasi, serupa dengan konsep dasar metode Wyandotte. Selulosa yang digunakan berbentuk bubuk halus kemudian disuspensikan dalam campuran aseton–air sesuai karakteristik proses

acetone slurry pada paten Russell Nelson. Aseton diencerkan terlebih dahulu hingga mencapai konsentrasi 70% karena digunakan sebagai *swelling agent* (agen pengembang) untuk membuka serat selulosa agar reaktan dapat masuk dan bereaksi dengan mudah.

Setelah terbentuk *slurry*, larutan natrium hidroksida dengan konsentrasi 50% ditambahkan untuk melakukan tahap alkalisasi. Menurut paten, penambahan NaOH dilakukan sambil menjaga sistem pada suhu rendah sehingga pembentukan alkali-selulosa berlangsung merata di dalam media aseton. NaOH diencerkan menjadi konsentrasi 50% karena ini adalah konsentrasi terbaik untuk mengaktifkan selulosa secara maksimal dan mengejar derajat substitusi yang tinggi, sekaligus untuk mengontrol panas eksotermik agar tidak merusak/mendegradasi polimer selulosa.

Tahap berikutnya adalah eterifikasi, di mana asam monokloroasetat (MCA) konsentrasi 90% ditambahkan ke dalam campuran yang telah teralkalisasi tadi. Konsentrasi SMCA sebesar 90% dipilih karena pada kondisi tersebut SMCA berada dalam bentuk yang lebih mudah diproses dibandingkan bahan awal padat berkonsentrasi tinggi. Penurunan konsentrasi bertujuan untuk meningkatkan kemudahan pengumpanan dan pencampuran bahan dalam reaktor, memperbaiki kontak antara SMCA dengan reaktan lain. Reaksi ini berlangsung dalam kondisi suhu yang lebih tinggi dibanding tahap pertama, sebagaimana dijelaskan dalam paten, hingga selulosa bereaksi membentuk karboksimetil selulosa beserta natrium klorida sebagai produk samping alami dari reaksi.

Setelah reaksi selesai, campuran dipisahkan untuk memisahkan CMC dari fase cair. Media aseton yang masih tersisa kemudian *direcover* melalui distilasi, karena paten menekankan bahwa aseton dapat dipulihkan dan digunakan kembali dalam siklus berikutnya. Produk CMC yang telah dipisahkan kemudian dikeringkan untuk memperoleh bentuk akhir yang siap diproses lebih lanjut (Nelson *et al.*, 1967).

Tabel 1. 7 Perbandingan Proses Yang Akan Digunakan

Proses	German Batch	Wyandotte	Russel Nelson
Bahan Baku	Selulosa	Selulosa Bubuk	Selulosa Bubuk
Bahan Penunjang	NaOH ClCH ₂ COOH NaHCO ₃	NaOH ClCH ₂ COOH	NaOH ClCH ₂ COONa C ₃ H ₆ O
Kondisi Operasi	Suhu : 35-45°C Tekanan : 1 atm	Suhu : 25-75°C Tekanan : 1 atm	Suhu : 20-70°C Tekanan : 1 atm
Reaktor	<i>Kneader</i>	<i>Rotary Reactor</i>	<i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i>
Konversi Reaktor	60-70%	80%	88%
Peralatan	Peralatan berat dan rumit, investasi besar	Peralatan sederhana, investasi kecil	Sederhana
Proses	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memerlukan unit pengolahan monokloroasetat. 2. Setelah proses berlangsung 1 tahap, perlu pengosongan dan pembersihan alat untuk menjaga kemurnian produk. 3. Kondisi <i>temperature</i> berubah-ubah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan pelarut air. 2. Tidak memerlukan unit pengolahan monokloroasetat. 3. Kondisi dapat dipertahankan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan pelarut aseton sehingga dapat menghindari terjadinya penggumpalan di dinding reaktor. 2. Kondisi <i>temperature</i> dapat tetap dipertahankan.

Proses	German Batch	Wyandotte	Russel Nelson
Limbah Yang Dihasilkan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghasilkan banyak polusi debu 2. Menghasilkan limbah cair alkali dengan kadar tinggi. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghasilkan banyak polusi debu halus. 2. Menghasilkan limbah cair alkali dengan kadar rendah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghasilkan sedikit polusi debu halus. 2. Menghasilkan limbah cair alkali dengan kadar rendah.
Kelebihan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proses sederhana dan mudah diaplikasikan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak memerlukan pelarut organik. 2. Tahap pemurnian relatif lebih mudah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reaksi lebih terkontrol dan homogen. 2. Derajat substitusi (DS) dan viskositas CMC lebih tinggi dan seragam. 3. Reaksi samping lebih minimal. 4. Kualitas produk akhir lebih baik.
Kekurangan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reaksi kurang terkontrol. 2. Derajat substitusi (DS) relatif rendah dan tidak seragam. 3. Banyak reaksi samping sehingga kemurnian produk lebih rendah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Distribusi gugus karboksimetil kurang merata. 2. Kontrol reaksi terbatas karena tanpa media pelarut. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membutuhkan pelarut tambahan. 2. Proses lebih kompleks.

Proses	German Batch	Wyandotte	Russel Nelson
	4. Efisiensi reaktan kurang baik.		

Berdasarkan hasil evaluasi beberapa alternatif metode produksi karboksimetil selulosa yang telah dirangkum pada Tabel 1.7, dapat dilakukan analisis lebih lanjut untuk menentukan proses yang paling sesuai diterapkan pada skala industri. Tabel tersebut membandingkan berbagai proses, namun demikian, proses Russel Nelson menunjukkan performa yang lebih unggul dan memenuhi sebagian besar kriteria yang diperlukan untuk desain pabrik karboksimetil selulosa. Oleh karena itu, penjelasan berikut menguraikan alasan teknis yang mendasari pemilihan proses Russel Nelson sebagai metode produksi yang dipilih :

1. Memiliki tingkat konversi tinggi

Salah satu alasan utama dipilihnya proses Russel Nelson adalah tingginya efisiensi konversi, yaitu sekitar 88%. Tingkat konversi tersebut berarti sebagian besar selulosa yang masuk berhasil diubah menjadi karboksimetil selulosa, sehingga jumlah residu selulosa yang tidak bereaksi menjadi lebih kecil. Efisiensi ini memberikan keuntungan langsung pada *yield* produk, menurunkan beban unit pemurnian, serta meminimalkan limbah padatan yang dihasilkan.

2. Penggunaan bahan penunjang yang bersifat fungsional

Salah satu keunggulan proses Russel Nelson dalam produksi karboksimetil selulosa adalah penggunaan bahan penunjang berupa pelarut organik, seperti aseton, yang berfungsi sebagai media reaksi. Meskipun tidak terlibat secara langsung sebagai reaktan, keberadaan pelarut ini memberikan kontribusi penting dalam menciptakan kondisi reaksi yang lebih terkendali dan stabil.

Penggunaan aseton memungkinkan sistem reaksi berlangsung secara heterogen, sehingga interaksi antara selulosa dan pereaksi dapat terjadi secara lebih terarah tanpa menyebabkan degradasi berlebih pada struktur polimer. Kondisi ini mendukung efisiensi reaksi serta membantu menghasilkan produk dengan distribusi gugus substituen yang lebih merata.

Selain meningkatkan efektivitas proses, keberadaan pelarut juga berperan dalam menekan pembentukan reaksi samping, menjaga kualitas produk akhir, serta mempermudah pengendalian sifat fungsional karboksimetil selulosa, seperti viskositas dan kestabilan larutan. Dari sisi operasional, sifat volatil pelarut organik memudahkan proses pemisahan dan pemulihan kembali, sehingga mendukung efisiensi dan kelayakan proses dalam skala industri.

Secara umum, penggunaan bahan penunjang dalam proses Russel Nelson bukan sekadar tambahan, melainkan bagian dari strategi rekayasa proses untuk memperoleh kualitas produk yang lebih baik serta sistem produksi yang lebih terkendali dan efisien. Oleh karena itu, aspek ini menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan proses Russel Nelson untuk perancangan pabrik CMC.

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika merupakan langkah penting untuk memahami sifat fundamental dari suatu reaksi kimia, meliputi kecenderungan reaksi tersebut bersifat eksotermis atau endotermis, serta apakah reaksi berlangsung secara *reversible* atau *irreversible*. Analisis ini dilakukan dengan menelaah perubahan

energi yang terjadi selama proses reaksi, khususnya melalui evaluasi nilai perubahan entalpi.

Penentuan sifat suatu reaksi kimia dapat dilakukan melalui perhitungan panas reaksinya (ΔH_r), yang diperoleh dari data panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada kondisi standar, yaitu tekanan 1 bar dan suhu 25 °C atau 298,15 K. Melalui nilai ΔH_r tersebut, dapat diidentifikasi apakah reaksi berlangsung secara eksotermis atau endotermis. Sementara itu, arah kecenderungan reaksi ditentukan menggunakan perhitungan energi Gibbs (ΔG_f) pada kondisi operasi yang relevan.

1. Panas Pembentukan Standar (ΔH_f°)

Kajian termodinamika dilakukan untuk mengevaluasi karakter reaksi, meliputi sifatnya apakah bersifat eksotermis atau endotermis, tingkat spontanitas reaksi, serta arah reaksi yang dapat berlangsung secara *reversible* maupun *irreversible*. Penentuan sifat eksotermis atau endotermis reaksi dilakukan melalui perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°).

Tabel 1. 8 Nilai ΔH_f° Masing-Masing Senyawa

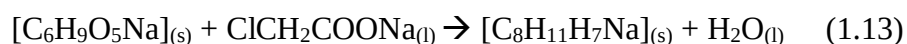
No.	Senyawa	Rumus Molekul	ΔH_f° (Kj/mol)	Sumber
1.	Tepung Selulosa	$C_6H_{10}O_5$	-4,029	<i>Part of the Journal of Research of the National Bureau of Standards</i> , 1981
2.	Natrium Hidroksida	NaOH	-416,880	Yaws, 1976
3.	Alkali Selulosa	$C_6H_9O_5Na$	-1.184,909	PT <i>South Pacific Viscose</i>
4.	Air	H_2O	-285,000	Yaws, 1976
5.	Asam Monokloroasetat	$ClCH_2COONa$	13,933	NIST <i>Chemistry WebBook</i> , 1996
6.	Karboksimetil Selulosa	$C_8H_{11}O_7Na$	-1.266,978	Yaws, 1976
7.	Natrium Klorida	NaCl	-411,200	Yaws, 1976

a. Reaksi Alkalisasi



$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ (298\text{K}) &= \sum \Delta H_f^\circ \text{ Produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ Reaktan} \\ &= (-1.184,909 + (-285)) - (-4,029 + (-416,880)) \\ &= -1.048,9994 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

b. Reaksi Eterifikasi



$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ (298\text{K}) &= \sum \Delta H_f^\circ \text{ Produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ Reaktan} \\ &= (-1.266,978 + (-285)) - (-1.184,909 + (-416,880)) \\ &= -507,2023 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Karena harga ΔH_r yang dihasilkan bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis (Yaws, 1976). Howan (2019) menyebutkan bahwa termodinamika membahas perubahan energi yang dimanifestasikan sebagai kalor reaksi, ΔH . Pereaksi yang reaktannya membebaskan kalor ke lingkungan disebut reaksi *eksoterm* (ΔH negatif). Loelovich (2023) mengatakan bahwa proses alkalisasi dan eterifikasi disertai dengan efek panas eksotermis.

2. Energi Gibbs (ΔG_f)

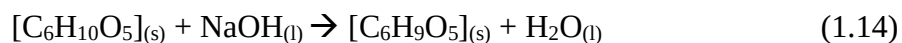
Perhitungan energi bebas Gibbs (ΔG°_f) digunakan untuk memprediksi kecenderungan arah reaksi kimia, apakah reaksi dapat berlangsung secara spontan atau tidak. Nilai ΔG°_f yang bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tidak berlangsung secara spontan sehingga memerlukan suplai energi dari luar dalam jumlah yang cukup besar. Sebaliknya, nilai ΔG°_f yang bernilai negatif (−) menandakan bahwa reaksi

dapat terjadi secara spontan dengan kebutuhan energi tambahan yang relatif kecil. Menurut Hariani dan Fatmayati (2024), sintesis karboksimetil selulosa (CMC) terdiri atas dua tahap reaksi spontan, yaitu alkalisasi dan eterifikasi. Pada tahap alkalisasi, larutan NaOH secara spontan memutus ikatan hidrogen untuk mengaktifkan gugus hidroksil selulosa. Sementara pada tahap eterifikasi, alkali selulosa bereaksi secara spontan dengan agen MCA membentuk produk CMC beserta produk samping berupa natrium glikolat dan natrium klorida. Berdasarkan data yang dilaporkan oleh Yaws (1976) dan beberapa jurnal, nilai ΔG°_f masing-masing komponen disajikan pada Tabel 1.9 berikut:

Tabel 1. 9 Nilai ΔG°_f Masing-Masing Senyawa

No.	Senyawa	Rumus Molekul	ΔG°_f (Kj/mol)	Sumber
1.	Tepung Selulosa	$C_6H_{10}O_5$	-149,059	Yaws, 1976
2.	Natrium Hidroksida	NaOH	-379,500	Yaws, 1976
3.	Alkali Selulosa	$C_6H_9O_5Na$	-520,369	Al-Khawarizmi <i>Engineering Journal</i> , 2023
4.	Air	H_2O	-228,600	Yaws, 1976 <i>Journal of the Serbian Chemical Society</i> , 2015
5.	Asam Monokloroasetat	$ClCH_2COONa$	93,600	<i>Zeitschrift für Physikalische Chemie Journal</i> , 2015
6.	Karboksimetil Selulosa	$C_8H_{11}O_7Na$	-46,710	Yaws, 1976
7.	Natrium Klorida	NaCl	-384,100	Yaws, 1976

a. **Reaksi Alkalisasi**

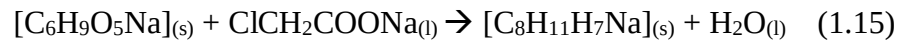


$$\Delta G^\circ (298K) = \sum \Delta G^\circ_f \text{ Produk} - \sum \Delta G^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$= (-520,369 + (-228,600)) - (-149,059 + (-379,500))$$

$$= -220,4094 \text{ kJ/mol}$$

b. Reaksi Eterifikasi



$$\Delta G^\circ (298\text{K}) = \Sigma \Delta G_f^\circ \text{ Produk} - \Sigma \Delta G_f^\circ \text{ Reaktan}$$

$$= (-46,710 + (-228,600)) - (-520,369 + (93,600))$$

$$= -4,041 \text{ kJ/mol}$$

Kemudian Untuk menentukan reaksi tersebut termasuk kedalam reaksi *irreversible* atau *reversible* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan van't hof. Dengan K standar pada suhu 298 K (25 °C).

$$\ln K = \frac{-\Delta G_r^\circ}{RT} \quad (1.16)$$

Dimana:

ΔG° : Energi bebas gibbs (kJ/mol)

R : Konstanta gas universal (J/mol.K)

T : Suhu (K)

K : Konstanta kesetimbangan reaksi

Reaksi Alkalisasi

Perhitungan nilai konstanta kesetimbangan (K_1) menggunakan persamaan (1.6) dan (1.16) menghasilkan:

$$\ln K_1 = \frac{-(-220,4094) \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K} \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K_1 = 88,9619$$

$$K_1 = 4,3217 \times 10^{38}$$

Nilai konstanta kesetimbangan (K_2) pada suhu reaksi 30 °C (303 K) dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \left[-\frac{\Delta H}{R} \right] \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad (1.17)$$

Melalui persamaan (1.17), didapatkan nilai:

$$\ln \frac{K_2}{4,3217 \times 10^{38}} = \left[-\frac{-1.048,9994 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K}} \right] \left[\frac{1}{303 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right]$$

$$\ln \frac{K_2}{4,3217 \times 10^{38}} = -6,9868$$

$$\frac{K_2}{4,3217 \times 10^{38}} = e^{-6,9868}$$

$$\frac{K_2}{4,3217 \times 10^{38}} = 9,2403 \times 10^{-04}$$

$$K_2 = 3,9933 \times 10^{35}$$

Reaksi Eterifikasi

Perhitungan nilai konstanta kesetimbangan (K_1) menggunakan persamaan (1.7) dan (1.16) menghasilkan:

$$\ln K_1 = \frac{-(-4,041) \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K} \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K_1 = 1,6312$$

$$K_1 = 5,1099$$

Pada suhu reaksi 70°C (343 K), besarnya konstanta kesetimbangan (K_2) dapat dihitung menggunakan persamaan (1.17) dan didapat hasil:

$$\ln \frac{K_2}{5,1099} = \left[-\frac{-507,2023 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K}} \right] \left[\frac{1}{343 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right]$$

$$\ln \frac{K_2}{5,1099} = -0,0269$$

$$\frac{K_2}{5,1099} = e^{-0,0269}$$

$$\frac{K_2}{5,1099} = 9,7350 \times 10^{-01}$$

$$K_2 = 4,9745$$

Nilai ΔG° yang negatif pada kedua reaksi menunjukkan bahwa proses ini berlangsung secara spontan. Karakteristik searah (*irreversible*) dari reaksi ini diperkuat oleh hasil perhitungan konstanta kesetimbangan K yang nilainya (+) atau jauh lebih besar dari satu. Menurut Smith (1981), sifat bolak-balik (*reversible*) atau searahnya suatu reaksi memang dapat dilihat dari harga konstanta kesetimbangannya, di mana nilai K merupakan perbandingan antara konstanta kecepatan reaksi maju dan reaksi balik. Karena nilai K pada reaksi ini sangat besar, posisi kesetimbangan otomatis bergeser penuh ke arah kanan/produk. Akibatnya, pada kondisi normal, hampir semua reaktan habis berubah menjadi produk dan sangat sulit untuk kembali ke bentuk semula (reaktan). Menurut Murudov *et al.* (2021), reaksi alkalisasi untuk membentuk alkali selulosa serta reaksi eterifikasi (karboksimetilasi) dalam sintesis karboksimetil selulosa (CMC) merupakan reaksi kimia yang bersifat *irreversible*. Setelah ikatan eter terbentuk, produk tersebut tidak dapat kembali menjadi selulosa maupun reagen awalnya.

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Analisis kinetika reaksi merupakan langkah dasar yang esensial dalam pengembangan model reaktor kimia. Pada produksi karboksimetil selulosa, jalannya reaksi berlangsung melalui sejumlah tahapan sehingga menjadikannya cukup kompleks. Karena itu, diperlukan data kinetika yang mencakup tahap

alkalisasi maupun eterifikasi. Jika diasumsikan bahwa reaktivitas selulosa, NaOH, air, serta produk antara tidak berubah secara signifikan selama proses berlangsung, maka model kuasi-homogen dapat digunakan sebagai pendekatan yang memadai (Konovalenko *et al.*, 2021). Dalam publikasi yang sama, Konovalenko *et al.* juga menjelaskan bahwa nilai faktor pre-eksponensial (A) dan energi aktivasi (Ea) dari persamaan Arrhenius tersedia, dengan pengaruh transfer massa dianggap dapat diabaikan. Di sisi lain, hasil penelitian Xiquan *et al.* (1990) menunjukkan bahwa reaksi pembentukan karboksimetil selulosa mengikuti kinetika orde satu semu terhadap asam monokloroasetat.

Persamaan Arrhenius digunakan untuk menentukan konstanta laju kinetika reaksi:

$$k = A \exp \left(-\frac{E_a}{RT} \right) \quad (1.16)$$

Keterangan:

- k : Konstanta laju reaksi
- A : Faktor pre-eksponensial
- Ea : Energi aktivasi (J/mol)
- R : Konstanta gas universal (J/mol.K)
- T : Suhu (K)

Proses pembuatan karboksimetil selulosa melibatkan dua tahapan reaksi, yaitu reaksi alkalisasi sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1.6) dan reaksi eterifikasi pada Persamaan (1.7). Nilai konstanta laju reaksi pada tahap alkalisasi dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut.

Tabel 1. 10 Kinetika Reaksi Alkalisasi

A	134,29	1/min
Ea	22.091,52	J/mol
R	8,314	J/mol.K

$$k = 134,29 \exp (-2.209,52/RT) \quad 1/\text{min} \quad (1.17)$$

Nilai konstanta laju reaksi pada tahap eterifikasi dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut.

Tabel 1. 11 Kinetika Reaksi Eterifikasi

A	$1,29 \times 10^{14}$	1/h
Ea	87.300	J/mol
R	8,314	J/mol.K

$$k = 2,15 \times 10^{12} \exp (-87.300/RT) \quad 1/h \quad (1.18)$$

Reaksi alkalisasi antara selulosa (padat) dan NaOH (cair), serta reaksi eterifikasi antara alkali selulosa dan *sodium monochloroacetate* (SMCA), secara stoikiometri melibatkan dua komponen pereaksi. Namun, menurut Fogler (2020), orde reaksi merupakan hubungan empiris dari data percobaan yang bergantung pada mekanisme aktual, bukan sekadar koefisien stoikiometri. Pada sistem heterogen ini, laju reaksi tidak hanya dikontrol oleh reaksi kimia, tetapi juga oleh proses perpindahan massa, penetrasi reaktan, dan ketersediaan gugus hidroksil pada struktur polimer selulosa.

Berdasarkan studi literatur dan data eksperimen kinetika, konstanta laju reaksi (k) untuk kedua tahap tersebut memiliki satuan seperwaktu (s^{-1}). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kondisi operasi serta keberadaan reaktan cair (NaOH dan SMCA) telah terakomodasi di dalam nilai (k). Oleh karena itu, laju reaksi pembentukan produk dapat direpresentasikan secara efektif menggunakan

model kinetika orde satu semu (*pseudo-first-order*) terhadap konsentrasi polimer.

Persamaan laju reaksi yang digunakan dalam perancangan reaktor adalah:

$$-r_A = kC_A$$

Di mana C_A adalah konsentrasi selulosa (pada tahap alkalisasi) atau konsentrasi alkali selulosa (pada tahap eterifikasi).

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

a. *Carboxymethyl Cellulose/CMC* (Karboksimetil Selulosa)

Rumus molekul	: $C_8H_{11}O_7Na$
Berat molekul	: 242,16 g/mol
Fase	: Padat/ <i>solid</i> (bubuk)
Warna	: <i>Beige/white to off-white</i>
PH	: 6,5 - 8
Titik didih	: 527,1 °C pada 760 mmHg
Titik lebur	: 300 °C
<i>Specific gravity</i>	: 1,59
Massa jenis	: 1,59 g/cm ³ atau 1,6 g/cm ³
Viskositas	: (2.500 - 6.000 cP)
Kemurnian	: 65%
Kelarutan	: larut
<i>Flash Point</i>	: -
<i>Degree of Substitution</i>	: 0.80 - 0.95

(MSDS Fisher Scientific Company, 2021)

b. *Sodium Chloride* (Natrium Klorida)

Rumus molekul	: NaCl
Berat molekul	: 58,44 g/mol

Fase	: Padat/ <i>solid</i>
Warna	: Tidak berwarna
pH	: 7
Titik didih	: 1.413 °C
Titik lebur	: 801 °C pada 1.013,25 hPa
<i>Specific gravity</i>	: 2,163
Massa jenis	: 2,16 g/cm ³ pada 25 °C
Viskositas	: (418,55 cP)
Kemurnian	: 99%
<i>Flash Point</i>	: -
Kelarutan	: 35,7 g/100 g pada 0 °C 39,8 g/100 g pada 100 °C
Kapasitas panas (Cp)	: 0,853 J/g.°C

(MSDS Merck Millipore, 2025)

Sifat Kimia:

1. Sedikit larut dalam alkohol
2. Tidak larut dalam HCl
3. Tidak korosif terhadap semua logam dan kaca
4. Tidak mudah terbakar

c. *Sodium Glycolate* (Asam Glikolat)

Rumus molekul	: C ₂ H ₃ NaO ₃
Berat molekul	: 98,03 g/mol
Fase	: Padat/ <i>solid</i>

Warna	: Tidak berwarna
pH	: 2 pada 50 g/l pada 20 °C
Titik didih	: 243 °C
Titik lebur	: 146 °C
<i>Spesific gravity</i>	: -
Massa jenis	: 1.416 g/cm ³ pada 25 °C
Viskositas	: 6,149 mm ² /s pada 23 °C
Kemurnian	: 97%
<i>Flash Point</i>	: 77 °C
Kelarutan	: -
Kapasitas panas (Cp)	: -

(MSDS Acros Organics N.V., 2002; *ChemicalBook*, 2025)

d. Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,01 g/mol
Fase	: Cair/ <i>liquid</i>
Warna	: Tidak berwarna
pH	: 6-8 pada 25 °C
Titik didih	: 100°C
Titik lebur	: 0°C
<i>Spesific gravity</i>	: -
Massa jenis	: 1,000 g/cm ³ pada 25 °C
Viskositas	: -

Kemurnian	: 100%
<i>Flash Point</i>	: -
Kelarutan	: -
Kapasitas panas (Cp)	: -

(MSDS Merck Millipore, 2025)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

a. *Cellulose Powder* (Tepung Selulosa)

Rumus molekul	: $C_6H_{10}O_5$
Berat molekul	: 162,09 g/mol
Fase	: Padat/ <i>solid</i>
Warna	: Putih
pH	: 5-7
Titik didih	: 667,90 °C
Titik lebur	: 518 °C
<i>Specific gravity</i>	: 1,3 –1,4
Massa jenis	: 1,50 g/cm ³ pada 20 °C
Viskositas	: -
Kemurnian	: 95%
<i>Flash Point</i>	: -
Kelarutan	: 50 g/L pada 90°C (tidak larut/insoluble)

(MSDS Fisher Scientific Company, 2021)

b. *Sodium Hydroxide* (Natrium Hidroksida/Soda Api)

Rumus molekul	: NaOH
---------------	--------

Berat molekul	: 40,00 g/mol
Fase	: Padat/ <i>solid</i>
Warna	: Putih
pH	: Kira-kira > 14 pada 100 g/l pada 20 °C
Titik didih	: 1.390 °C pada 1.013 hPa
Titik lebur	: 318,4 °C
<i>Specific gravity</i>	: 2,130 pada 20 °C
Massa jenis	: 2,13 g/cm ³ pada 20 °C
Viskositas	: -
Kemurnian	: 98%
<i>Flash Point</i>	: -
Kelarutan	: 1.090 g/l pada 20 °C
Kapasitas panas (Cp)	: -101,96 kal/mol.K pada 25 °C

(MSDS Merck Millipore, 2025)

Sifat Kimia:

1. Akan cepat menyerap karbon dioksida dan lembab, jika dibiarkan di udara.
2. Tidak larut dalam eter
3. Mudah larut dalam air dan etanol
4. NaOH membentuk basa kuat bila dilarutkan dalam air

c. *Sodium Monochloroacetate* (Natrium Monokloroasetat/SMCA)

Rumus molekul	: ClCH ₂ COONa
Berat molekul	: 116,48 g/mol

Fase	: Padat/ <i>solid</i> (bubuk)
Warna	: Putih
pH	: 4.5-9.0
Titik didih	: 189 °C
Titik lebur	: 199 °C
<i>Specific gravity</i>	: 1,24
Massa jenis	: 1,87 pada 20 °C
Viskositas	: 1,32 mPa.s pada 100 °C
Kemurnian	: 98%
<i>Flash Point</i>	: 126 °C
Kelarutan	: 440 g/l pada 20 °C
Kapasitas panas (Cp)	: solid, 144,02 J/mol.K pada 15 - 45 °C liquid, 180,45 J/mol.K pada 70 °C liquid, 187,11 J/mol.K pada 130 °C

(MSDS *Fisher Scientific Company*, 2021; *Chemicalbook*, 2025)

d. Acetone/Aseton

Rumus molekul	: C ₃ H ₆ O
Berat molekul	: 58,04 g/mol
Fase	: Cair/ <i>liquid</i>
Warna	: Tidak berwarna
pH	: -
Titik didih	: 56,1 °C
Titik lebur	: -94,7 °C

<i>Specific gravity</i>	: 0.79
Massa jenis	: 0,79 g/cm ³ pada 20 °C
Viskositas	: -
Kemurnian	: 99,5%
<i>Flash Point</i>	: -20 °C
Kelarutan	: -
Kapasitas panas (Cp)	: -

(MSDS *CHEMOS Company*, 2020)

e. Alkali Selulosa

Rumus molekul	: C ₆ H ₉ O ₅ Na
Berat molekul	: 184 g/mol
Fase	: Padat/ <i>solid</i>
Warna	: Putih hingga putih kekuningan
Bau	: Tidak Berbau
Densitas	: ± 1,5 g/cm ³
Kelarutan	: Tidak larut dengan air

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan serangkaian upaya yang dilakukan untuk menjaga serta memastikan bahwa mutu produk yang dihasilkan tetap sesuai dengan standar atau spesifikasi yang telah ada. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk mempertahankan konsistensi kualitas produk sehingga mampu memenuhi harapan dan kebutuhan konsumen (Assauri, 2008).

Untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki mutu yang baik dan konsisten, diperlukan penerapan pengendalian kualitas secara menyeluruh mulai dari tahap pemilihan dan pemeriksaan bahan baku hingga tahap akhir ketika produk telah terbentuk. Pada pabrik karboksimetil selulosa (CMC), sistem *Quality Control* (QC) diterapkan secara terstruktur dan mencakup tiga aspek utama, yaitu pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses, dan pengendalian kualitas dari produknya.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku memiliki tujuan utama untuk memastikan bahwa seluruh bahan yang digunakan dalam proses produksi memiliki mutu yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pada pabrik karboksimetil selulosa (CMC), kegiatan ini dilakukan sebelum proses produksi dimulai, sebagai langkah awal untuk menjamin kestabilan dan konsistensi hasil akhir produk.

Dengan dilakukannya pengendalian kualitas bahan baku secara ketat sebelum tahap produksi, pabrik karboksimetil selulosa dapat meminimalkan risiko terjadinya penyimpangan selama proses reaksi, meningkatkan efisiensi konversi bahan, serta menjamin bahwa produk karboksimetil selulosa yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik dan kimia sesuai standar mutu yang diharapkan.

2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses

Pengendalian proses produksi bertujuan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang konsisten dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pengendalian ini dilakukan pada setiap tahapan proses, dimulai dari penanganan bahan baku hingga terbentuknya produk akhir. Ruang lingkup

pengendalian mencakup pemantauan mutu bahan baku, bahan tambahan, produk antara (*intermediate*), serta parameter yang berpengaruh terhadap mutu keseluruhan proses produksi.

Kegiatan pengawasan mutu dapat dilakukan melalui analisis laboratorium maupun dengan menggunakan alat kontrol otomatis yang terpasang pada sistem produksi. Pada pabrik karboksimetil selulosa, pengendalian dan pemantauan proses dilakukan secara terpusat di *control room*, yang dilengkapi sistem kontrol otomatis untuk memastikan seluruh tahapan operasi berlangsung stabil dan hasil produk memiliki mutu yang seragam.

Beberapa instrumen utama yang digunakan dalam sistem pengendalian ini meliputi:

- a. *Flow Controller*, yaitu alat yang digunakan untuk mengontrol aliran bahan baku, aliran masuk, dan aliran keluar proses.
- b. *Flow Ratio Controller*, merupakan instrumen pengendali yang digunakan untuk mempertahankan perbandingan laju alir antara dua aliran fluida atau lebih agar tetap sesuai dengan rasio yang telah ditentukan. Penggunaan *flow ratio controller* bertujuan untuk menjaga konsistensi komposisi bahan, meningkatkan efisiensi proses, serta memastikan kualitas produk sesuai spesifikasi yang diinginkan.
- c. *Level Controller*, yaitu alat yang dipasang pada dinding tangki atau vessel untuk mengatur dan mempertahankan volume cairan agar tetap pada batas yang diinginkan.

- d. *Level Indicator*, merupakan instrumen yang berfungsi untuk menunjukkan atau menampilkan tinggi permukaan (*level*) fluida di dalam tangki, vessel, maupun peralatan proses lainnya. Instrumen ini digunakan sebagai sarana pemantauan kondisi volume cairan selama proses berlangsung sehingga operator dapat mengetahui jumlah fluida yang terdapat di dalam sistem dan menjaga operasi tetap berjalan dengan aman dan stabil.
- e. *Temperature Controller*, digunakan untuk menjaga suhu proses pada nilai yang telah ditetapkan (*set point*). Apabila suhu aktual melebihi batas yang diatur, sistem secara otomatis akan menyesuaikan agar kondisi operasi kembali stabil.
- f. *Weight Controller*, merupakan instrumen yang digunakan untuk mengatur dan mempertahankan berat bahan baku atau produk agar sesuai dengan nilai yang telah ditentukan.
- g. *Weight Indicator*, merupakan instrumen yang berfungsi untuk menampilkan nilai berat material yang terukur pada suatu peralatan proses. Instrumen ini digunakan sebagai media pemantauan bagi operator untuk mengetahui jumlah material yang terdapat di dalam sistem selama proses produksi berlangsung.
- h. *Moisture Controller*, berfungsi memonitor dan mengatur kadar air pada material atau lingkungan proses dalam batas parameter yang diizinkan. Pengendalian ini krusial untuk menjaga mutu suatu bahan, mencegah kerusakan fisik seperti penggumpalan, serta menghindari reaksi samping akibat air berlebih.

- i. *Speed Controller*, berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran mekanis atau laju gerak pada peralatan proses. Pengendalian ini krusial untuk mengontrol waktu tinggal (*residence time*) material, menjaga stabilitas laju alir, dan mengatur intensitas pencampuran. Melalui regulasi kecepatan motor, sistem ini menjamin efisiensi konsumsi energi serta konsistensi hidrodinamika proses secara keseluruhan.

Dengan penerapan sistem kontrol yang terintegrasi ini, pabrik karboksimetil selulosa dapat menjaga efisiensi proses, mencegah terjadinya penyimpangan operasional, serta menjamin keseragaman mutu produk yang dihasilkan.

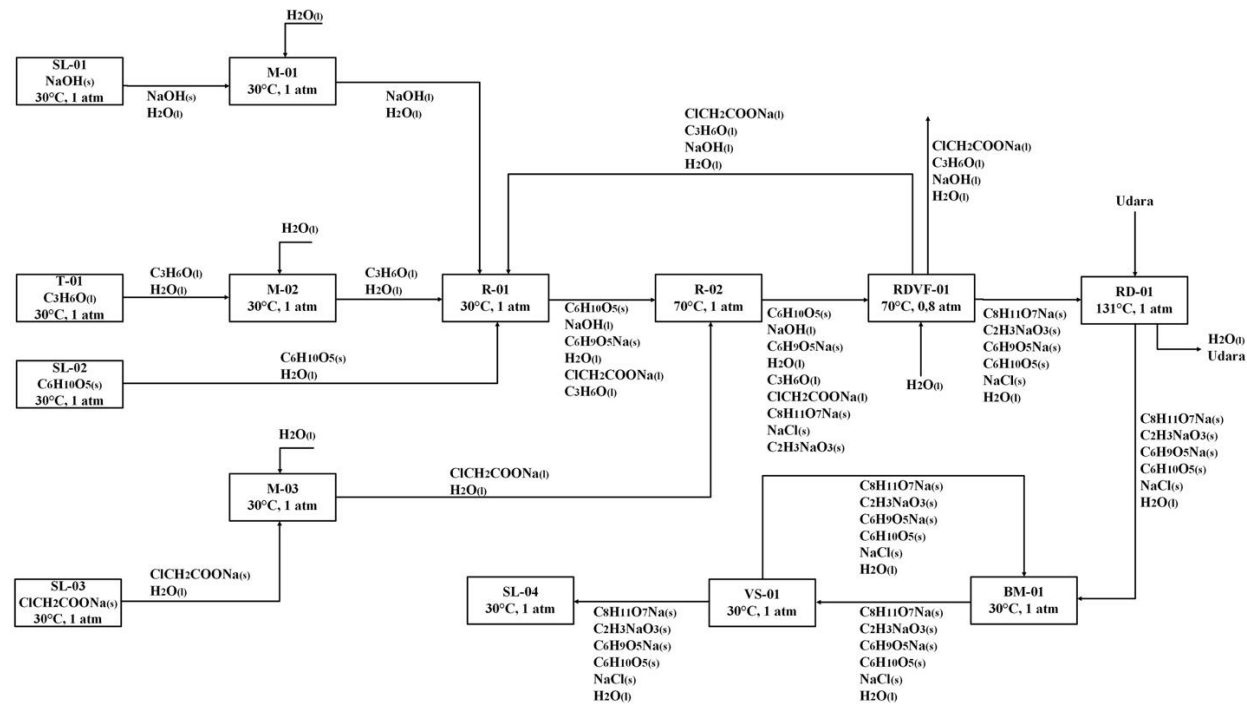
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Selain pengendalian pada proses produksi, pengendalian kualitas produk akhir juga dilakukan untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan. Melalui sistem pengawasan terintegrasi, pabrik dapat menghasilkan produk yang konsisten, berkualitas, dan layak dipasarkan. Evaluasi mutu dilakukan dengan berbagai pengujian, seperti analisis densitas, viskositas, kemurnian, dan komposisi komponen produk, guna memastikan bahwa karboksimetil selulosa yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi teknis dan standar industri yang berlaku.

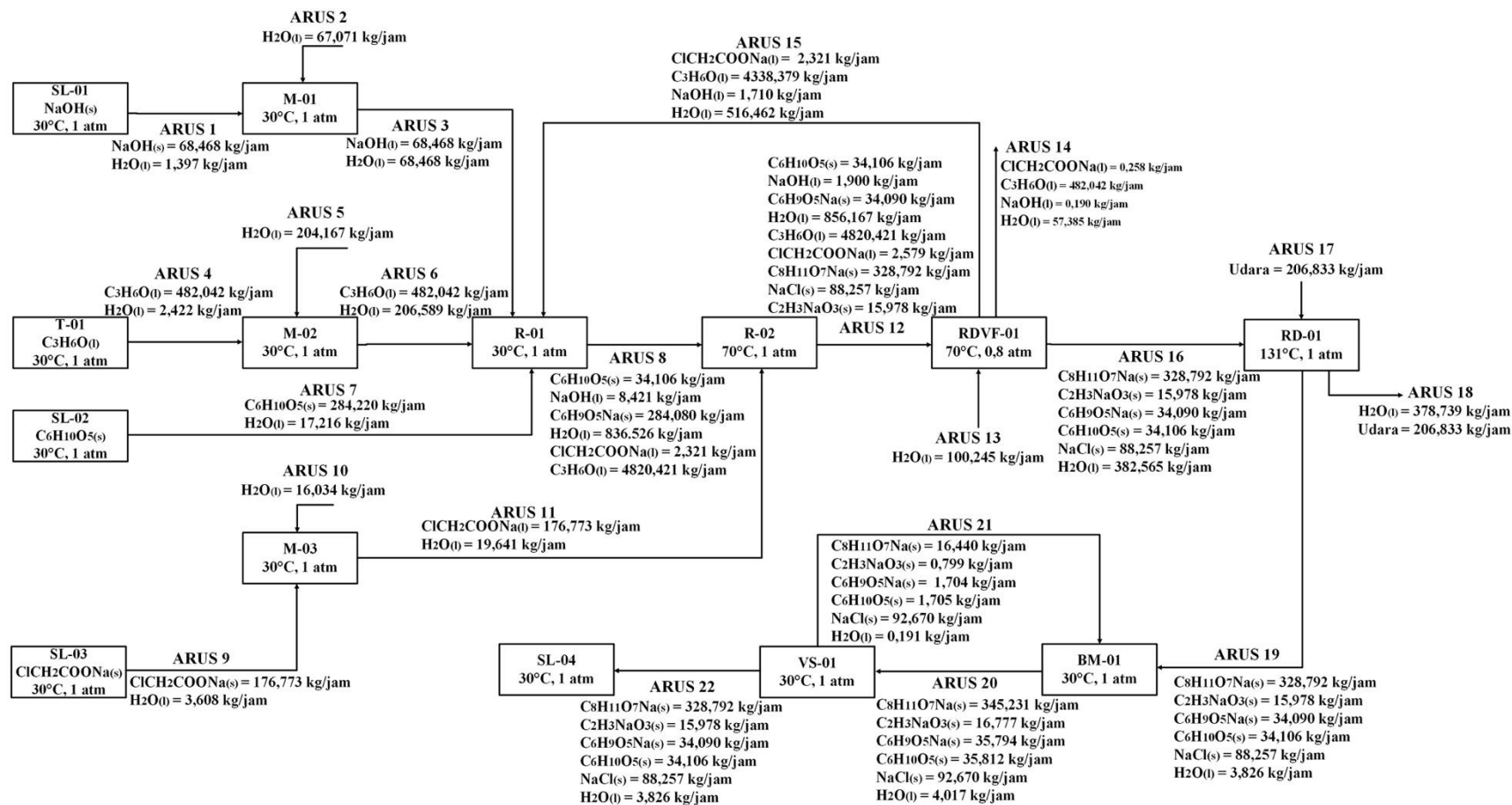
BAB III

PERANCANGAN PROSES

3.1 Diagram Alir Proses dan Material



Gambar 3. 1 Diagram Alir CMC Kualitatif



Gambar 3. 2 Diagram Alir CMC Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Pabrik karboksimetil selulosa dari selulosa dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 4.000 ton per tahun. Pabrik ini direncanakan beroperasi selama 24 jam dengan waktu operasi efektif selama 330 hari dalam kurun waktu 1 tahun. Pembuatan karboksimetil selulosa dari selulosa secara umum dapat digolongkan menjadi beberapa tahapan proses, yaitu:

1. Tahap persiapan dan penanganan bahan baku serta bahan pendukung
2. Tahap reaksi kimia pembentukan produk
3. Tahap pemisahan dan pemurnian produk akhir

Berikut merupakan uraian dari masing-masing tahapan proses:

3.2.1 Tahap persiapan dan penanganan bahan baku serta bahan pendukung

a) *Cellulose Powder*/Tepung Selulosa

Bahan baku berupa *cellulose powder* dengan kemurnian 95% disimpan terlebih dahulu di dalam silo (SL-02) dalam kondisi fase padat pada suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Dari unit penyimpanan, bahan tersebut kemudian dialirkan menuju reaktor alkalisasi (R-01) menggunakan *screw conveyor* (SC-02).

b) Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida padat dengan kemurnian 98% disimpan di dalam silo (SL-01) pada kondisi operasi suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Dari unit penyimpanan tersebut, bahan dialirkan menuju *mixer* (M-01) menggunakan *screw conveyor* (SC-01). Di dalam *mixer*, NaOH kemudian dilarutkan sekaligus diencerkan dengan penambahan air hingga diperoleh

larutan NaOH berkonsentrasi 50% yang kemudian akan dialirkan dengan pompa (P-01) menuju reaktor alkalisasi (R-01) untuk digunakan sebagai umpan proses.

c) Natrium Monokloroasetat (SMCA)

Natrium monokloroasetat padat dengan kemurnian 98% disimpan di dalam silo (SL-03) pada kondisi operasi suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Karena reaksi berlangsung dalam fase cair, bahan terlebih dahulu dilarutkan. Natrium monokloroasetat dialirkan dari silo menuju *mixer* (M-03) menggunakan *screw conveyor* (SC-03) dan dicampurkan dengan pelarut hingga terbentuk larutan homogen. Selanjutnya, larutan natrium monokloroasetat tersebut dialirkan menuju reaktor eterifikasi (R-02) menggunakan pompa (P-04).

d) *Acetone*/Aseton

Aseton dengan kemurnian 99,5% digunakan sebagai pelarut dan disimpan di dalam tangki penyimpanan (T-01) pada kondisi cair, suhu 30 °C, dan tekanan 1 atm. Sebelum digunakan, aseton dialirkan menuju *mixer* (M-02) untuk diencerkan hingga mencapai konsentrasi 70% dengan bantuan pompa (P-02). Selanjutnya, larutan aseton 70% dipompakan menggunakan pompa (P-03) ke reaktor alkalisasi (R-01) sebagai media pencampur bahan baku.

3.2.2 Tahap reaksi kimia pembentukan produk

1. Reaksi Alkalisasi

Tepung selulosa diumpankan bersama larutan NaOH 50% dan pelarut aseton ke dalam reaktor alkalisasi (R-01). Di dalam reaktor ini selulosa bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk alkali selulosa pada kondisi operasi suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Reaksi berlangsung secara eksotermis dan bersifat spontan, sehingga diperlukan pengendalian pencampuran yang baik agar distribusi panas dan konsentrasi tetap seragam. Reaksi alkalisasi ini menggunakan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) yang mampu mempertahankan homogenitas campuran selama proses berlangsung. Aliran keluaran dari reaktor alkalisasi berupa suspensi alkali selulosa selanjutnya dialirkan secara kontinu menuju reaktor eterifikasi (R-02) sebagai umpan untuk tahap reaksi berikutnya.

2. Reaksi Eterifikasi

Tahap eterifikasi dilangsungkan dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) untuk memastikan pencampuran yang merata serta kestabilan kondisi operasi selama reaksi berlangsung. Aliran keluaran dari reaktor alkalisasi (R-01) yang merupakan alkali selulosa selanjutnya diumpankan ke dalam reaktor ini dan direaksikan dengan natrium monokloroasetat yang telah dilarutkan sehingga berada dalam fase cair. Kondisi tersebut memungkinkan kontak antar pereaksi berlangsung lebih efektif, sehingga pembentukan karboksimetil selulosa dapat berlangsung secara optimal dan terkendali.

3.2.3 Tahap pemisahan dan permunian produk akhir

Aliran produk dari reaktor eterifikasi (R-02) selanjutnya dialirkan menggunakan pompa (P-06) menuju *rotary drum vacuum filter* (RDVF-01) untuk memisahkan fase padat dan cair, dimana fase padat tertahan pada permukaan drum

sementara fase cair terhisap sebagai filtrat. Padatan hasil pemisahan kemudian dikirim ke *rotary dryer* (RD-01) menggunakan *screw conveyor* (SC-04) untuk menurunkan kadar air hingga memenuhi spesifikasi produk, sedangkan aliran cair dibagi menjadi dua bagian, yaitu sebesar 90% direcycle kembali ke reaktor alkalisasi (R-01) guna meningkatkan efisiensi penggunaan bahan dan pelarut, serta 10% sisanya dikeluarkan sebagai *purge* untuk menjaga kestabilan komposisi sistem dan mencegah terjadinya akumulasi komponen selama proses berlangsung. Padatan kering selanjutnya diperkecil ukurannya di *ball mill* (BM-01) untuk menghilangkan aglomerasi dan memperoleh ukuran partikel yang lebih halus. Produk hasil penggilingan diangkut menggunakan *screw conveyor* (SC-05) menuju *vibrating screener* (VS-01) untuk proses klasifikasi ukuran. Partikel yang memenuhi spesifikasi dialirkan ke silo produk (SL-04) menggunakan *bucket elevator* (BE-02), sementara fraksi berukuran lebih besar dikembalikan sebagai aliran *recycle* ke *ball mill* (BM-01) hingga diperoleh distribusi ukuran yang seragam yaitu 80 mesh.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Reaktor

a. Reaktor (R-01)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor Alkalisasi (R-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	R-01
Fungsi	Untuk mereaksikan selulosa dengan natrium hidroksida menjadi alkali selulosa
Jenis	RATB (Reaktor Alir Tangki Berpengaduk)
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah Unit	1

Harga, Rp	8.785.920.385,82
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan	<i>Stainless steel type 316</i>
Konstruksi	
Volume, m ³	53,6339
Jenis Head	<i>Torispherical Flanged & Dished Head</i>
Kondisi Proses	<i>Isothermal</i>
Dimensi Reaktor	
Shell	
Diameter, m	4,0873
Tinggi, m	4,0873
Tinggi cairan, m	3,6786
Tebal, in	0,2500
Volume, m ³	53,6020
Head	
Tinggi, m	0,8747
Tebal, in	0,2500
Spesifikasi Khusus (Pengaduk)	
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Marine Proppeller 3 Blade</i>
Diameter <i>Impeller</i> , m	1,3624
Ketinggian <i>Impeller</i> dari dasar, m	1,3624
Lebar <i>Impeller</i> , m	0,3406
Jumlah <i>Baffle</i> , buah	4
Lebar <i>Baffle</i> , m	0,1362
Jumlah <i>Impeller</i> , buah	1
Kecepatan Pengadukan, rpm	56,0000
Power Pengaduk, Hp	5,0000
Spesifikasi Pendingin	
Mode Transfer Panas	Pendingin
Ud, W/m ² K	425,8698
Luas Area Transfer Panas, m ²	24,8087
Luas Selubung Reaktor, m ²	69,0594
Diameter <i>Jacket</i> (ID), in	165,4176
Tebal <i>Jacket</i> , in	0,2500
Tebal <i>Head Jacket</i> , in	0,1875
Tinggi <i>Head Jacket</i> , m	0,8731
Tinggi Total <i>Jacket</i> , m	4,5517
Luas Transfer Panas <i>Jacket</i> , in ²	215,6029
Koefisien Perpindahan Panas Antara Reaktor Dan Jaket Pendingin	
hi, btu/ft ² .h.°F	1.762,8069

hio, btu/ft ² .h.°F	1688,4922
ho, btu/ft ² .h.°F	152,0881
Koefisien Clean Overall Coefficient Dan Designed Overall Coefficient	
Uc, btu/ft ² .h.°F	139,5210
Ud, btu/ft ² .h.°F	98,3538
Rd	0,0030

b. Reaktor (R-02)

Tabel 3. 2 Spesifikasi Reaktor Eterifikasi (R-02)

Spesifikasi Umum	
Kode	R-02
Fungsi	Untuk mereaksikan alkali selulosa dengan natrium monokloroasetat menjadi <i>carboxymethyl cellulose</i>
Jenis	RATB (Reaktor Alir Tangki Berpengaduk)
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	6.212.097.806,15
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	70
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan	<i>Stainless steel type 316</i>
Konstruksi	
Volume, m ³	27,8748
Jenis Head	<i>Torispherical Flanged & Dished Head</i>
Kondisi Proses	<i>Isothermal</i>
Dimensi Reaktor	
Shell	
Diameter, m	3,2861
Tinggi, m	3,2861
Tinggi Cairan, m	2,9575
Tebal, in	0,2500
Volume, m ³	27,8559
Head	
Tinggi, m	0,6295
Tebal, in	0,2500
Spesifikasi Khusus (Pengaduk)	
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Marine Proppeller 3 Blade</i>
Diameter <i>Impeller</i> , m	1,0954

Ketinggian <i>Impeller</i> dari dasar, m	1,0954
Lebar <i>Impeller</i> , m	0,2738
Jumlah <i>Baffle</i> , buah	4
Lebar <i>Baffle</i> , m	0,1095
Jumlah <i>Impeller</i> , buah	1
Kecepatan Pengadukan, rpm	68
Power Pengaduk, Hp	3
Spesifikasi Pendingin	
Mode Transfer Panas	Pendingin
Ud, W/m ² K	425,8698
Luas Area Transfer Panas, m ²	10,7389
Luas Selubung Reaktor, m ²	43,4196
Diameter <i>Jacket</i> (ID), in	133,8746
Tebal <i>Jacket</i> , in	0,2500
Tebal <i>Head Jacket</i> , in	0,1875
Tinggi <i>Head Jacket</i> , m	0,6682
Tinggi Total <i>Jacket</i> , m	3,6257
Luas Transfer Panas <i>Jacket</i> , in ²	174,9223
Koefisien Perpindahan Panas Antara Reaktor Dan Jacket Pendingin	
hi, btu/ft ² .h.°F	688,8499
hio, btu/ft ² .h.°F	645,7946
ho, btu/ft ² .h.°F	427,8336
Koefisien Clean Overall Coefficient Dan Designed Overall Coefficient	
Uc, btu/ft ² .h.°F	257,3448
Ud, btu/ft ² .h.°F	145,2256
Rd	0,0030

3.3.2 Spesifikasi Alat Proses (Pendukung)

a. Mixer (M-01)

Tabel 3. 3 Spesifikasi Mixer (M-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	M-01
Fungsi	Melarutkan/mengencerkan kristal natrium hidroksida (NaOH)

Jenis	<i>Torispherical flanged and dished head dengan pengaduk turbin with 6 flat blades</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	1.219.934.494,08
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 316</i>
Dimensi Mixer	
Diameter, m	0,4285
Tinggi, m	0,4285
Tinggi Cairan, m	0,3857
Tebal Shell, in	0,1875
Tebal Head, in	0,1875
Spesifikasi Khusus (Pengaduk)	
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Turbin with 6 flat blades</i>
Diameter <i>Impeller</i> , m	0,1428
Ketinggian <i>Impeller</i> dari dasar, m	0,1428
Lebar <i>Impeller</i> , m	0,0357
Jumlah <i>Baffle</i> , buah	4
Lebar <i>Baffle</i> , m	0,0243
Jumlah <i>Impeller</i> , buah	1
Kecepatan Pengadukan, rpm	573,6529
Power Pengaduk, Hp	0,7500
Spesifikasi Pendingin	
Mode Transfer Panas	Pendingin
Ud, W/m ² K	425,8698
Luas Area Transfer Panas, m ²	5,4581
Luas Selubung Reaktor, m ²	0,5766
Diameter <i>Jacket</i> (ID), in	21,2457
Tebal <i>Jacket</i> , in	0,1875
Tebal <i>Head Jacket</i> , in	0,1875
Tinggi <i>Head Jacket</i> , m	0,1572
Tinggi Total <i>Jacket</i> , m	0,5429
Luas Transfer Panas <i>Jacket</i> , in ²	30,3506
Koefisien Perpindahan Panas Antara Mixer Dan Jacket Pendingin	
hi, btu/ft ² .h.°F	17,2577
hio, btu/ft ² .h.°F	12,1313
ho, btu/ft ² .h.°F	60,5542
Koefisien Clean Overall Coefficient Dan Designed Overall Coefficient	

Uc, btu/ft ² .h.°F	10,1066
Ud, btu/ft ² .h.°F	9,8092
Rd	0,0030

b. Mixer (M-02)

Tabel 3. 4 Spesifikasi Mixer (M-02)

Spesifikasi Umum	
Kode	M-02
Fungsi	Mengencerkan larutan aseton (C ₃ H ₆ O)
Jenis	<i>Torispherical flanged and dished head dengan pengaduk marine propeller with 3 blades</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	2.808.241.364,81
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 316</i>
Dimensi Mixer	
Diameter, m	0,7945
Tinggi, m	0,7945
Tinggi Cairan, m	0,7150
Tebal <i>Shell</i> , in	0,1875
Tebal <i>Head</i> , in	0,1875
Spesifikasi Khusus (Pengaduk)	
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Marine propeller with 3 blades</i>
Diameter <i>Impeller</i> , m	0,2648
Ketinggian <i>Impeller</i> dari dasar, m	0,2648
Lebar <i>Impeller</i> , m	0,0662
Jumlah <i>Baffle</i> , buah	4
Lebar <i>Baffle</i> , m	0,0265
Jumlah <i>Impeller</i> , buah	1
Kecepatan Pengadukan, rpm	219,6329
Power Pengaduk, Hp	0,2500
Spesifikasi Pendingin	
Mode Transfer Panas	Pendingin
Ud, W/m ² K	425,8698
Luas Area Transfer Panas, m ²	1,4889
Luas Selubung Reaktor, m ²	1,9820

Diameter <i>Jacket</i> (ID), in	35,6541
Tebal <i>Jacket</i> , in	0,1875
Tebal <i>Head Jacket</i> , in	0,1875
Tinggi <i>Head Jacket</i> , m	0,1572
Tinggi Total <i>Jacket</i> , m	0,8723
Luas Transfer Panas <i>Jacket</i> , in ²	37,9852
Koefisien Perpindahan Panas Antara Reaktor Dan Jaket Pendingin	
hi, btu/ft ² .h.°F	7,9557
hio, btu/ft ² .h.°F	10,3686
ho, btu/ft ² .h.°F	6,358,2677
Koefisien Clean Overall Coefficient Dan Designed Overall Coefficient	
Uc, btu/ft ² .h.°F	10,3517
Ud, btu/ft ² .h.°F	10,0399
Rd	0,0030

c. Mixer (M-03)

Tabel 3. 5 Spesifikasi *Mixer* (M-03)

Spesifikasi Umum	
Kode	M-03
Fungsi	Melarutkan dan mengencerkan kristal natrium monokloroasetat (CLCH ₂ COONa) menjadi 90%
Jenis	<i>Torispherical flanged and dished head</i> dengan pengaduk <i>marine propeller with 3 blades</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	1.346.712.000,33
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 316</i>
Dimensi Mixer	
Diameter, m	0,4620
Tinggi, m	0,4620
Tinggi Cairan, m	0,4158
Tebal <i>Shell</i> , in	0,1875
Tebal <i>Head</i> , in	0,1875
Spesifikasi Khusus (Pengaduk)	

<i>Jenis Impeller</i>	<i>Marine propeller with 3 blades</i>
<i>Diameter Impeller, m</i>	0,1540
<i>Ketinggian Impeller dari dasar, m</i>	0,1540
<i>Lebar Impeller, m</i>	0,0385
<i>Jumlah Baffle, buah</i>	4
<i>Lebar Baffle, m</i>	0,0154
<i>Jumlah Impeller, buah</i>	1
<i>Kecepatan Pengadukan, rpm</i>	520,5449
<i>Power Pengaduk, Hp</i>	0,1250
Spesifikasi Pemanas	
<i>Mode Transfer Panas</i>	Pemanas
<i>Ud, W/m²K</i>	425,8698
<i>Luas Area Transfer Panas, m²</i>	0,2048
<i>Luas Selubung Reaktor, m²</i>	0,6702
<i>Diameter Jacket (ID), in</i>	22,5637
<i>Tebal Jacket, in</i>	0,1875
<i>Tebal Head Jacket, in</i>	0,1875
<i>Tinggi Head Jacket, m</i>	0,1572
<i>Tinggi Total Jacket, m</i>	0,5730
<i>Luas Transfer Panas Jacket, in²</i>	31,0489
Koefisien Perpindahan Panas Antara Reaktor Dan Jacket Pemanas	
<i>hi, btu/ft².h.°F</i>	39,9585
<i>hio, btu/ft².h.°F</i>	30,2831
<i>ho, btu/ft².h.°F</i>	18,6190
Koefisien Clean Overall Coefficient Dan Designed Overall Coefficient	
<i>Uc, btu/ft².h.°F</i>	11,5300
<i>Ud, btu/ft².h.°F</i>	11,1445
<i>Rd</i>	0,0030

d. Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01)

Tabel 3. 6 Spesifikasi Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01)

Spesifikasi Umum	
<i>Kode</i>	RDVF-01
<i>Fungsi</i>	Memisahkan <i>slurry</i> hasil keluaran R-02 menjadi fase padat (<i>cake</i>) dan fase cair (<i>filtrat</i>) secara kontinu
<i>Jenis</i>	<i>Rotary Vacuum Filter</i>
<i>Jumlah Unit</i>	1
<i>Harga, Rp</i>	4.408.508.377,64
Kondisi Operasi	

Suhu, °C	70
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 316</i>
Spesifikasi Data Desain	
Diameter, m	1,8288
Panjang, m	3,6576
Kecepatan Putaran, rpm	1
Power Standar, Hp	25
Waktu Siklus	
Pembentukan <i>Cake</i> , detik	0,0024
<i>First Dewatering</i> , detik	24,9976
<i>Washing</i> , detik	5,0024
<i>Second Dewatering</i> , detik	15,0000
Total Waktu Siklus, detik	45,0024

e. Rotary Dryer (RD-01)

Tabel 3. 7 Spesifikasi *Rotary Dryer* (RD-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	RD-01
Fungsi	Mengeringkan karboksimetil selulosa dari <i>rotary drum vacuum filter</i> (RDVF-01)
Jenis	<i>Direct contact rotary dryer, counter current</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	2.351.363.936,64
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	131
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 316</i>
Spesifikasi Data Desain	
Diameter, m	1,4811
Panjang, m	5,9246
Volume, m ³	10,2029
Tebal, in	0,2500
Kemiringan/ <i>Slope</i> , cm/m	2
Kecepatan Putaran, rpm	3,9322
Power Standar, Hp	40

f. Ball Mill (BM-01)

Tabel 3. 8 Spesifikasi *Ball Mill* (BM-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	BM-01
Fungsi	Untuk memperkecil ukuran produk keluaran dari <i>rotary dryer</i> (RD-01)
Jenis	<i>Cylindrical-conical Ball Mill</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	935.283.112,13
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Data Desain	
Diameter, m	0,6507
Panjang, m	0,9760
Kecepatan Putaran, rpm	24,0000
Power Standar, Hp	0,5000

g. Vibrating Screener (VS-01)

Tabel 3. 9 Spesifikasi *Vibrating Screener* (VS-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	VS-01
Fungsi	Untuk menyeragamkan ukuran produk karboksimetil selulosa (CMC) sesuai dengan standartnya
Jenis	<i>Vibrating screener</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	172.226.046,22
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Data Desain	
Ukuran <i>Screen</i> , mesh	80

Luas <i>Screen</i> , m ²	0,0597
Panjang <i>Screen</i> , m	0,2443
Lebar <i>Screen</i> , m	0,2443

h. Filter Udara (FL-01)

Tabel 3. 10 Spesifikasi Filter Udara (FL-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	FL-01
Fungsi	Menyaring udara yang ada di udara bebas sebelum dialirkan oleh <i>blower</i> (BL-01) ke <i>rotary dryer</i> (RD-01)
Jenis	<i>Dry filter</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	50.232.596,82
Konstruksi Dan Material Bahan	<i>Carbon steel</i>
Konstruksi	
Spesifikasi Data Desain	
Kapasitas, ft ³ /menit	1.000
Rate Udara, ft ³ /jam	7.556,5231
Ukuran Filter, in	24 x 24
Jumlah Filter, buah	1

i. Blower Udara (BL-01)

Tabel 3. 11 Spesifikasi Blower Udara (BL-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	BL-01
Fungsi	Menghisap udara untuk diumpankan ke dalam <i>heater</i> udara (HT-02)
Jenis	<i>Backward curve blade centrifugal blower</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	50.232.596,82
Konstruksi Dan Material Bahan	<i>Carbon steel SA-283 grade CS</i>
Konstruksi	
Spesifikasi Data Desain	
Kapasitas, ft ³ /menit	265,7241
Power, Hp	7,5

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan

a. Tangki Penyimpanan (T-01)

Tabel 3. 12 Spesifikasi Tangki Penyimpanan (T-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	T-01
Fungsi	Menyimpan kebutuhan bahan baku untuk proses produksi, yakni C_3H_6O
Jenis	Silinder tegak dengan dasar <i>flat bottom</i> dan atap berbentuk <i>torispherical roof</i>
Jumlah Tangki	1
Lama Penyimpanan	30 hari
Harga, Rp	23.293.572.751,75
Kondisi Operasi	
Fasa	Cair
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Data Desain	
Volume Tangki, m ³	2400,6983
Diameter, m	18,2880
Tinggi, m	9,1440
Jumlah <i>Course</i>	5
Tebal <i>Shell</i> , in	0,0104
Head & Bottom	
Jenis <i>Head</i>	<i>Torispherical</i>
Tebal <i>Head</i> , in	0,375
Jenis <i>Bottom</i>	<i>Flat bottom</i>
Tebal <i>Bottom</i> , in	0,6250

b. Silo Penyimpanan

Tabel 3. 13 Spesifikasi Silo Penyimpanan

Jenis Alat	Silo (SL-01)	Silo (SL-02)
Spesifikasi Umum		
Kode	SL-01	SL-02

Jenis Alat	Silo (SL-01)	Silo (SL-02)
Fungsi	Menyimpan kebutuhan padatan natrium hidroksida (NaOH) sebelum masuk ke proses produksi dengan <i>screw conveyor</i> (unit pengantongan NaOH selama 7 hari)	Menyimpan kebutuhan padatan selulosa ($C_6H_{10}O_5$) sebelum masuk ke proses produksi dengan <i>screw conveyor</i> (unit pengantongan selama 30 hari)
Jenis	Silinder tegak dengan <i>Conical Bottom</i> dan <i>Flat Head</i>	Silinder tegak dengan <i>Conical Bottom</i> dan <i>Flat Head</i>
Jumlah Silo	1	1
Lama Penyimpanan	7 hari	30 hari
Harga, Rp	593.223.048,10	4.575.950.367,02
Kondisi Operasi		
Fasa	Padat	Padat
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 304</i>	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Data Desain		
Volume, m ³	7,4461	239,7781
Diameter, m	1,6359	5,2046
Tinggi, m	4,0777	12,9205
Tebal <i>Shell</i> , in	0,1875	0,2500
Head & Bottom		
Jenis <i>Head</i>		
Tebal <i>Head</i> , in	0,2500	0,3750
Jenis <i>Bottom</i>		

Tabel 3. 14 Spesifikasi Silo Penyimpanan (Lanjutan)

Jenis Alat	Silo (SL-03)	Silo (SL-04)
Spesifikasi Umum		
Kode	SL-03	SL-04

Jenis Alat	Silo (SL-03)	Silo (SL-04)
Fungsi	Menyimpan kebutuhan padatan sodium monokloroasetat ($\text{ClCH}_2\text{COONa}$) sebelum masuk ke proses produksi dengan <i>screw conveyor</i> (unit pengantongan selama 30 hari)	Menyimpan produk/hasil proses produksi berupa karboksimetil selulosa (CMC/ $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{O}_7\text{Na}$) (unit pengantongan selama 30 hari)
Jenis	Silinder tegak dengan <i>Conical Bottom</i> dan <i>Flat Head</i>	Silinder tegak dengan <i>Conical Bottom</i> dan <i>Flat Head</i>
Jumlah Silo	1	1
Lama Penyimpanan	30 hari	30 hari
Harga, Rp	2.772.360.938,52	5.733.692.122,19
Kondisi Operasi		
Fasa	Padat	Padat
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 304</i>	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Data Desain		
Volume, m ³	111,0634	339,3017
Diameter, m	4,0269	5,8431
Tinggi, m	10,0252	14,4791
Tebal <i>Shell</i> , in	0,2500	0,2500
Head & Bottom		
Jenis <i>Head</i>		
Tebal <i>Head</i> , in	0,3125	0,3750
Jenis <i>Bottom</i>		

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

3.3.4.1 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat

a. *Screw Conveyor*

Tabel 3. 15 Spesifikasi *Screw Conveyor*

Jenis Alat	<i>Screw Conveyor</i> (SC-01)	<i>Screw Conveyor</i> (SC-02)
Spesifikasi Umum		
Kode	SC-01	SC-02

Jenis Alat	Screw Conveyor (SC-01)	Screw Conveyor (SC-02)
Fungsi	Mengangkut NaOH dari silo NaOH (S-01) menuju mixer 1 (M-01)	Mengangkut $C_6H_{10}O_5$ (<i>cellulose powder</i>) dari silo $C_6H_{10}O_5$ (S-02) menuju reaktor alkalisasi (R-01)
Jenis	<i>Horizontal Conveyor</i>	<i>Screw Horizontal Conveyor</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	90.897.079,95	90.897.079,95
Kondisi Operasi		
Wujud Bahan	Padat	Padat
Bentuk Bahan	<i>Crystal</i>	<i>Powder</i>
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, kg/jam	83,8383	361,7233
Diameter, in	9	9
Panjang, m	4,5720	4,5720
Speed, rpm	40	40
Motor Power, Hp	0,4300	0,4300

Tabel 3. 16 Spesifikasi Screw Conveyor (Lanjutan)

Jenis Alat	Screw Conveyor (SC-03)	Screw Conveyor (SC-04)
Spesifikasi Umum		
Kode	SC-03	SC-04
Fungsi	Mengangkut $ClCH_2COONa$ (sodium monokloroasetat) dari silo $ClCH_2COONa$ (S-03) menuju mixer 3 (M-03)	Mengangkut hasil <i>cake</i> karboksimetil selulosa (CMC) dari <i>rotary drum vacuum filter</i> (RDVF-01) menuju <i>rotary dryer</i> (RD-01)
Jenis	<i>Horizontal Conveyor</i>	<i>Screw Horizontal Conveyor</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	90.897.079,95	90.897.079,95
Kondisi Operasi		
Wujud Bahan	Padat	Padat

Jenis Alat	Screw Conveyor (SC-03)	Screw Conveyor (SC-04)
Bentuk Bahan	<i>Crystal</i>	<i>Crystal</i>
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, kg/jam	216,4565	1060,5450
Diameter, in	9	9
Panjang, m	4,5720	4,5720
Speed, rpm	40	40
Motor Power, Hp	0,4300	0,4300

Tabel 3. 17 Spesifikasi Screw Conveyor (Lanjutan)

Spesifikasi Umum	
Kode	SC-05
Fungsi	Mengangkut produk karboksimetil selulosa (CMC) dari <i>ball mill</i> (BM-01) menuju <i>vibrating screener</i> (VS-01)
Jenis	<i>Horizontal Screw Conveyor</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	90.897.079,95
Kondisi Operasi	
Wujud Bahan	Padat
Bentuk Bahan	<i>Crystal</i>
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>
Spesifikasi Data Desain	
Kapasitas, kg/jam	636,3610
Diameter, in	9
Panjang, m	4,5720
Speed, rpm	40
Motor Power, Hp	0,4300

b. Cooling Screw Conveyor (CSC-01)

Tabel 3. 18 Spesifikasi Cooling Screw Conveyor (CSC-01)

Spesifikasi Umum

Kode	CSC-01
Fungsi	Mengangkut/memindahkan hasil <i>cake</i> karboksimetil selulosa (CMC) yang telah dikeringkan dari <i>rotary dryer</i> (RD-01) menuju <i>ball mill</i> (BM-01) dan menurunkan suhunya komponennya
Jenis	<i>Horizontal Cooling Screw Conveyor</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	90.897.079,95
Kondisi Operasi	
Wujud Bahan	Padat
Bentuk Bahan	<i>Crystal</i>
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>
Spesifikasi Data Desain	
Kapasitas, kg/jam	606,0581
Diameter, in	9
Panjang, m	4,5720
<i>Speed</i> , rpm	40
<i>Motor Power</i> , Hp	0,4300

c. Bucket Elevator

Tabel 3. 19 Spesifikasi *Bucket Elevator* (BE-01)

Jenis Alat	<i>Bucket Elevator</i> (BE-01)	<i>Bucket Elevator</i> (BE-02)
Spesifikasi Umum		
Kode	BE-01	BE-02
Fungsi	Mengangkut produk karboksimetil selulosa (CMC) yang tidak terayak dari <i>vibrating screener</i> (VS-01) menuju <i>ball mill</i> (BM-01)	Mengangkut produk karboksimetil selulosa (CMC) dari <i>vibrating screener</i> (VS-01) menuju silo CMC (SL-04)
Jenis	<i>Centrifugal Discharge Bucket Elevator</i>	<i>Centrifugal Discharge Bucket Elevator</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	136.345.619,93	358.804.262,97
Kondisi Operasi		
Wujud Bahan	Padat	Padat

Jenis Alat	Bucket Elevator (BE-01)	Bucket Elevator (BE-02)
Bentuk Bahan	<i>Powder</i>	<i>Powder</i>
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA 28 Grade C</i>
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, kg/jam	30,3029	606,0581
Ukuran <i>Bucket</i> , in	6 x 4 x 4¼	6 x 4 x 4¼
Diameter <i>Pulley</i> , m	<i>Head</i>	0,5080
	<i>Tail</i>	0,3556
Tinggi <i>Bucket</i> , m	0,3048	0,3048
Tinggi <i>Elevator</i> , m	0,6507	14,4791
Kecepatan <i>Belt</i> , ft/min	0,4870	9,7402
RPM <i>Shaft</i> , rpm	0,0931	1,8615
<i>Motor Power</i> , Hp	0,0500	0,0500

3.3.4.2 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

a. Pompa

Tabel 3. 20 Spesifikasi Pompa

Jenis Alat	Pompa (P-01)	Pompa (P-02)
Spesifikasi Umum		
Kode	P-01	P-02
Fungsi	Mengalirkan NaOH dari <i>mixer 1 (M-01)</i> menuju reaktor alkalisasi (R-01)	Mengalirkan C ₃ H ₆ O dari tangki penyimpanan C ₃ H ₆ O (T-01) menuju <i>mixer 2 (M-02)</i>
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	50.232.596,82	88.505.051,53
Kondisi Operasi		
Viskositas, cP	2276,6496	0,3007
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel Type 304</i>	<i>Stainless Steel Type 304</i>

Jenis Alat	Pompa (P-01)	Pompa (P-02)
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, m ³ /jam	0,0443	0,7869
Kecepatan Aliran, ft/s	0,6020	2,0817
Rate Volumetric, ft ³ /s	0,0004	0,0077
Power Motor, Hp	0,0833	0,0500
Power Pompa, Hp	0,0598	0,0039
Dimensi		
IPS, in	0,2500	0,7500
OD, in	0,5400	1,0500
ID, in	0,3640	0,8240
Schedule Number	40	40
Flow Area, in ²	0,1040	0,5340

Tabel 3. 21 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (P-03)	Pompa (P-04)
Spesifikasi Umum		
Kode	P-03	P-04
Fungsi	Mengalirkan dan memompa C ₃ H ₆ O dari mixer 2 (M-02) menuju reaktor alkalisasi (R-01)	Mengalirkan dan memompa ClCH ₂ COONa dari mixer 3 (M-03) menuju reaktor eterifikasi (R-02)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	88.505.051,53	74.152.881,01
Kondisi Operasi		
Viskositas, cP	0,4540	4,7573
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel Type 304</i>	<i>Stainless Steel Type 304</i>
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, m ³ /jam	0,1718	0,1718
Kecepatan Aliran, ft/s	0,7982	0,7982
Rate Volumetric, ft ³ /s	0,0017	0,0017
Power Motor, Hp	0,1250	0,0500
Power Pompa, Hp	0,0752	0,0193
Dimensi		

Jenis Alat	Pompa (P-03)	Pompa (P-04)
IPS, in	1	0,5
OD, in	1,3200	0,8400
ID, in	1,0490	0,6220
<i>Schedule Number</i>	40	40
<i>Flow Area, in²</i>	0,8640	0,3040

Tabel 3. 22 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (P-05)	Pompa (P-06)
Spesifikasi Umum		
Kode	P-05	P-06
Fungsi	Memompa hasil produk dari reaktor alkalisasi (R-01) menuju reaktor eterifikasi (R-02)	Memompa hasil produk dari reaktor eterifikasi (R-02) menuju <i>rotary drum vacuum filter</i> (RDVF-01)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	193.754.302,00	193.754.302,00
Kondisi Operasi		
Viskositas, cP	4,2294	87,0577
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel Type 304</i>	<i>Stainless Steel Type 304</i>
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, m ³ /jam	9,0112	9,0230
Kecepatan Aliran, ft/s	2,6575	2,6610
<i>Rate Volumetric, ft³/s</i>	0,0884	0,0885
<i>Power Motor, Hp</i>	0,7500	0,5000
<i>Power Pompa, Hp</i>	0,4318	0,1671
Dimensi		
IPS, in	2,5	2,5
OD, in	2,8800	2,8800
ID, in	2,4690	2,4690
<i>Schedule Number</i>	40	40
<i>Flow Area, in²</i>	4,7900	4,7900

Tabel 3. 23 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (P-07)
Spesifikasi Umum	
Kode	P-07
Fungsi	Memompa hasil produk dari <i>rotary drum vacuum filter</i> (RDVF-01) menuju reaktor alkalisasi (R-01) untuk di <i>recycle</i> dan <i>purging</i> ke UPL
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1
Harga, Rp	193.754.302,00
Kondisi Operasi	
Viskositas, cP	1,1731
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel Type 304</i>
Spesifikasi Data Desain	
Kapasitas, m ³ /jam	8,4306
Kecepatan Aliran, ft/s	2,4863
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0827
<i>Power Motor</i> , Hp	0,7500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,5112
Dimensi	
IPS, in	2,5
OD, in	2,8800
ID, in	2,4690
<i>Schedule Number</i>	40
<i>Flow Area</i> , in ²	4,7900

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. *Heater* (HT-01)

Tabel 3. 24 Spesifikasi *Heater* (HT-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	HT-01
Fungsi	Memanaskan/menaikkan suhu keluaran reaktor alkalisasi (R-01) menuju reaktor eterifikasi (R-02)

Jenis	Double Pipe Heat Exchanger		
Jumlah Unit	1		
Harga, Rp	23.920.284,20		
Operating Condition			
Position	Inner Pipe	Annulus	
Fluid	Heavy Organics	Steam	
Fluid Type	Cold	Hot	
Temperature in, °C	30	150	
Temperature out, °C	70	150	
Pressure, atm	1	4,6986	
Mechanical Design			
Inner Pipe		Annulus	
IPS, in	1,2500	IPS, in	2
ID, in	1,3800	ID, in	2,0670
OD, in	1,6600	OD, in	2,3800
Surface Area, ft²/ft	0,4350	Surface Area, ft²/ft	0,6220
ΔP allow, psi	0,8334	ΔP allow, psi	0,0090
Hairpin, buah	4		
Panjang Total, ft	96		
Luas Transfer Panas, ft²	52,0403		
Clean Overall Coefficient (Uc), Btu/hr.ft².°F	1.221,6104		
Designed Overall Coefficient (Ud), Btu/hr.ft².°F	74,7706		
Rd _{hitung} , Btu/hr.ft².°F	0,0126		

b. Heater Udara (HT-02)

Tabel 3. 25 Spesifikasi *Heater Udara (HT-02)*

Spesifikasi Umum		
Kode	HT-02	
Fungsi	Memanaskan/menaikkan suhu udara sebelum digunakan untuk mengeringkan <i>cake</i> CMC dalam <i>rotary dryer</i> (RD-01)	
Jenis	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>	
Jumlah Unit	1	
Harga, Rp	19.136.227,36	
Operating Condition		
Position	Inner Pipe	Annulus

<i>Fluid</i>		<i>Gases</i>	<i>Steam</i>
<i>Fluid Type</i>		<i>Cold</i>	<i>Hot</i>
<i>Temperature in, °C</i>		30	150
<i>Temperature out, °C</i>		131	150
<i>Pressure, atm</i>		1	4,6986
Mechanical Design			
Inner Pipe		Annulus	
IPS, in	1,2500	IPS, in	2
ID, in	1,3800	ID, in	2,0670
OD, in	1,6600	OD, in	2,3800
Surface Area, ft ² /ft	0,4350	Surface Area, ft ² /ft	0,6220
ΔP allow, psi	0,0007	ΔP allow, psi	0,000033
Hairpin, buah		1	
Panjang Total, ft		24	
Luas Transfer Panas, ft ²		4,0779	
Clean Overall Coefficient (Uc), Btu/hr.ft ² .°F		0,1954	
Designed Overall Coefficient (Ud), Btu/hr.ft ² .°F		23,4684	
Rd _{hitung} , Btu/hr.ft ² .°F		5,0762	

c. Cooler (CL-01)

Tabel 3. 26 Spesifikasi Cooler (CL-01)

Spesifikasi Umum		
Kode	CL-01	
Fungsi	Mendinginkan/menurunkan suhu filtrat keluaran <i>rotary drum vacuum filter</i> (RDVF-01) menuju reaktor alkalisasi (R-01)	
Jenis	Shell and Tube	
Jumlah Unit	1	
Harga, Rp	7.176.085,26	
Operating Condition		
Position	Shell	Tube
Fluid	Medium Organics	Water
Fluid Type	Hot	Cold
Temperature in, °C	68,6	35
Temperature out, °C	30	45
Pressure, atm	1	1

Mechanical Design			
Shell		Tube	
Length, ft	-	Length, ft	8
Passes	1	Passes	2
ID, in	23,2500	ID, in	1,1200
OD, in	-	OD, in	1,2500
Baffle, in	23,2500	Baffle, in	-
Pitch, in	-	Pitch, in	1,5625 (1 ⁹ / ₁₆)
BWG	-	BWG	16
ΔP_{allow} , psi	6,7843	ΔP_{allow} , psi	1,4623
Luas transfer panas, ft ²		314,9549	
Rd _{hitung} , Btu/hr.ft ² .°F		0,0089	

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3. 27 Neraca Massa Total

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)	Output (Kg/Jam)
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	284,220	34,106
2.	NaOH	68,468	0,190
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	-	34,090
4.	H ₂ O	412,159	439,949
5.	C ₃ H ₆ O	482,042	482,042
6.	ClCH ₂ COONa	176,773	0,258
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	-	328,792
8.	NaCl	-	88,257
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	-	15,978
10.	Udara	206,833	206,833
Total		1.630,495	1.630,495

3.4.2 Neraca Massa Alat

a. Mixer 1 (M-01)

Tabel 3. 28 Neraca Massa *Mixer* (M-01)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
		Arus 1	Arus 2	Arus 3
1.	NaOH	68,468	-	68,468
2.	H ₂ O	1,397	67,071	68,468
Subtotal (Total setiap arus)		69,865	67,071	136,936
Total		136,936		136,936

b. Mixer 2 (M-02)Tabel 3. 29 Neraca Massa *Mixer* (M-02)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
		Arus 4	Arus 5	Arus 6
1.	C ₃ H ₆ O	482,042	-	482,042
2.	H ₂ O	2,422	204,167	206,589
Subtotal (Total setiap arus)		484,464	204,167	688,632
Total		688,632		688,632

c. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk/Continuous Stirred Tank Reactor 1 Alkalisasi (R-01)

Tabel 3. 30 Neraca Massa RATB/CSTR (R-01)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)				Output (Kg/Jam)
		Arus 3	Arus 6	Arus 7	Arus 15 (Recycle)	Arus 8
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	-	-	284,220	-	34,106
2.	NaOH	68,468	-	-	1,710	8,421
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	-	-	-	-	284,080
4.	H ₂ O	68,468	206,589	17,216	516,462	836,526
5.	C ₃ H ₆ O	-	482,042	-	4.338,379	4.820,421
6.	ClCH ₂ COONa	-	-	-	2,321	2,321
Subtotal (Total setiap arus)		136,936	688,632	301,436	4.858,872	5.985,876
Total		5.985,876				5.985,876

d. Mixer 3 (M-03)

Tabel 3. 31 Neraca Massa *Mixer* (M-03)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
		Arus 9	Arus 10	Arus 11
1.	ClCH ₂ COONa	176,773	-	176,773
2.	H ₂ O	3,608	16,034	19,641
Subtotal (Total setiap arus)		180,380	16,034	196,414
Total		196,414		196,414

e. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk/*Continuous Stirred Tank Reactor 2 Eterifikasi* (R-02)

Tabel 3. 32 Neraca Massa RATB/CSTR (R-02)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
		Arus 8	Arus 11	Arus 12
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	34,106	-	34,106
2.	NaOH	8,421	-	1,900
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	284,080	-	34,090
4.	H ₂ O	836,526	19,641	856,167
5.	C ₃ H ₆ O	4.820,421	-	4.820,421
6.	ClCH ₂ COONa	2,321	176,773	2,579
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	-	-	328,792
8.	NaCl	-	-	88,257
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	-	-	15,978
Subtotal (Total setiap arus)		5.985,876	196,414	6.182,290
Total		6.182,290		6.182,290

f. *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-01)

Tabel 3. 33 Neraca Massa *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-01)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)		
		Arus 12	Arus 13	Arus 14 (Purging)	Arus 16	Arus 15 (Recycle)
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	34,106	-	-	34,106	-
2.	NaOH	1,900	-	0,190	-	1,710
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	34,090	-	-	34,090	-
4.	H ₂ O	856,167	100,245	57,385	382,565	516,462
5.	C ₃ H ₆ O	4.820,421	-	482,042	-	4.338,379
6.	ClCH ₂ COONa	2,579	-	0,258	-	2,321
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	328,792	-	-	328,792	-
8.	NaCl	88,257	-	-	88,257	-
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	15,978	-	-	15,978	-
Subtotal (Total setiap arus)		6.182,290	100,245	539,875	883,787	4.858,872
Total		6.282,534		6.282,534		

g. *Rotary Dryer* (RD-01)Tabel 3. 34 Neraca Massa *Rotary Dryer* (RD-01)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)	
		Arus 16	Arus 17	Arus 18	Arus 19
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	34,106	-	-	34,106
2.	NaOH	-	-	-	-
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	34,090	-	-	34,090
4.	H ₂ O	382,565	-	378,739	3,826
5.	C ₃ H ₆ O	-	-	-	-
6.	ClCH ₂ COONa	-	-	-	-
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	328,792	-	-	328,792
8.	NaCl	88,257	-	-	88,257
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	15,978	-	-	15,978
10.	Udara	-	206,833	206,833	
Subtotal (Total setiap arus)		883,787	206,833	585,572	505,048
Total		1.090,621		1.090,621	

h. *Ball Mill* (BM-01)

Tabel 3. 35 Neraca Massa *Ball Mill* (BM-01)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
		Arus 19	Arus 21 (Recycle)	Arus 20
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	34,106	1,705	35,812
2.	NaOH	-	-	-
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	34,090	1704	35,794
4.	H ₂ O	3,826	0,191	4,017
5.	C ₃ H ₆ O	-	-	-
6.	ClCH ₂ COONa	-	-	-
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	328,792	16,440	345,231
8.	NaCl	88,257	4,413	92,670
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	15,978	0,799	16,777
Subtotal (Total setiap arus)		505,048	25,252	530,301
Total		530,301	530,301	530,301

i. *Vibrating Screener* (VS-01)Tabel 3. 36 Neraca Massa *Vibrating Screener* (VS-01)

No.	Komponen	Input (Kg/Jam)		Output (Kg/Jam)
		Arus 20	Arus 22	Arus 21 (Recycle)
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	35,812	34,106	1,705
2.	NaOH	-	-	-
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	35,794	34,090	1,704
4.	H ₂ O	4,017	3,826	0,191
5.	C ₃ H ₆ O	-	-	-
6.	ClCH ₂ COONa	-	-	-
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	345,231	328,792	16,440
8.	NaCl	92,670	88,257	4,413
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	16,777	15,978	0,799
Subtotal (Total setiap arus)		530,301	505,048	25,252
Total		530,301	530,301	530,301

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Total

Tabel 3. 37 Neraca Panas Total

No.	Alat	Q masuk (Kj/Jam)	Q keluar (Kj/Jam)
1.	Mixer (M-01)	78.352,204	78.352,204
2.	Mixer (M-02)	30.426,947	30.426,947
3.	Mixer (M-03)	2.406,682	2.406,682
4.	Reaktor Alkalisasi (R-01)	417.464,683	417.464,683
5.	Reaktor Eterifikasi (R-02)	844.382,624	844.382,624
6.	Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01)	536.810,393	536.810,393
7.	Rotary Dryer (RD-01)	115.939,428	115.939,428
8.	Ball Mill (BM-01)	2.455,661	2.455,661
9.	Vibrating Screener (VS- 01)	2.455,661	2.455,661
8.	Heater (HT-01)	656.308,329	656.308,329
10.	Heater Udara (HT-02)	22.286,697	22.286,697
11.	Cooler (CL-01)	958.161,153	958.161,153
Total		3.667.450,462	3.667.450,462

3.5.2 Neraca Panas Alat

a. Mixer 1 (M-01)

Tabel 3. 38 Neraca Panas Mixer (M-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q In	2.181,576	-
Q Out	-	2.181,576
Q Pelarutan	76.170,628	-
Q Kebutuhan Pendingin	-	76.170,628
Total	78.352,204	78.352,204

b. Mixer 2 (M-02)

Tabel 3. 39 Neraca Panas *Mixer* (M-02)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q <i>In</i>	9.649,270	-
Q <i>out</i>	-	9.649,270
Q Pelarutan	20.777,677	-
Q Kebutuhan Pendingin	-	20.777,677
Total	30.426,947	30.426,947

c. *Mixer 3* (M-03)Tabel 3. 40 Neraca Panas *Mixer* (M-03)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q <i>In</i>	2.406,682	-
Q <i>Out</i>	-	2.406,682
Total	2.406,682	2.406,682

d. *Reaktor Alir Tangki Berpengaduk/Continuous Stirred Tank Reactor 1 Alkalisasi* (R-01)

Tabel 3. 41 Neraca Panas RATB/CSTR (R-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q <i>In</i>	71.852,109	-
Q <i>Out</i>	-	71.322,088
Q Reaksi	345.612,574	-
Q Kebutuhan Pendingin	-	346.142,675
Total	417.464,683	417.464,683

e. *Reaktor Alir Tangki Berpengaduk/Continuous Stirred Tank Reactor 2 Eterifikasi* (R-02)

Tabel 3. 42 Neraca Panas RATB/CSTR (R-02)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q <i>In</i>	524.356,553	-
Q <i>Out</i>	-	522.140,364
Q Reaksi	320.026,071	-
Q Kebutuhan Pendingin	-	322.242,260
Total	844.382,624	844.382,624

f. *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-01)

Tabel 3. 43 Neraca Panas *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q In	536.810,393	-
Q Out	-	536.810,393
Total	536.810,393	536.810,393

g. Rotary Dryer (RD-01)Tabel 3. 44 Neraca Panas *Rotary Dryer* (RD-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q In	115.939,428	-
Q Out	-	106.878,434
Q Loss	-	9.022,732
Q Vapour	-	38,162
Total	115.939,428	115.939,428

h. Ball Mill (BM-01)Tabel 3. 45 Neraca Panas *Ball Mill* (BM-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q In	2.455,661	-
Q Out	-	2.455,661
Total	2.455,661	2.455,661

i. Vibrating Screener (VS-01)Tabel 3. 46 Neraca Panas *Vibrating Screener* (VS-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q In	2.455,661	-
Q Out	-	2.455,661
Total	2.455,661	2.455,661

j. Heater 01 (HT-01)Tabel 3. 47 Neraca Panas *Heater* (HT-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
Q In	71.322,008	-
Q Out	-	656.308,329
Steam	584.986,321	-
Total	656.308,329	656.308,329

k. Heater Udara 02 (HT-02)

Tabel 3. 48 Neraca Panas *Heater* Udara (HT-02)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
<i>Q In</i>	1.047,814	-
<i>Q Out</i>	-	22.286,697
<i>Steam</i>	21.238,883	
Total	22.286,697	22.286,697

l. Cooler 01 (CL-01)

Tabel 3. 49 Neraca Panas *Cooler* (CL-01)

Komponen Energi	Q Masuk (kJ/jam)	Q Keluar (kJ/jam)
<i>Q In</i>	958.161,153	-
<i>Q Out</i>	-	108.774,248
Pendingin	-	849.386,905
Total	958.161,153	958.161,153

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan salah satu hal yang penting dalam tahap merencanakan pendirian suatu pabrik. Lokasi pabrik harus dipilih yang paling strategis karena secara langsung akan berdampak pada kemudahan produksi, akses pasar/distribusi produk dari pabrik tersebut, ketersediaan pekerja, hingga besarnya keuntungan. Dengan mempertimbangkan berbagai faktor baik dari segi teknis maupun segi ekonominya, fasilitas produksi karboksimetil selulosa dengan target kapasitas 4.000 ton/tahun direncanakan akan berlokasi di Jalan Banten Lama, Terate, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten dengan titik koordinat tepatnya di $6^{\circ}00'26.7''\text{S}$ $106^{\circ}05'40.8''\text{E}$.



Gambar 4.1 Lokasi Pabrik Karboksimetil Selulosa

Pemilihan lokasi pendirian pabrik karboksimetil selulosa ini didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

- a. Ketersediaan Bahan Baku

Pemilihan lokasi pabrik harus mempertimbangkan kemudahan memperoleh bahan baku karena inilah yang menjadi modal utama atau faktor krusial untuk keberlanjutan operasional pabrik karboksimetil selulosa, karena memang berpengaruh pada ekonomi pabrik. Pabrik sebaiknya didirikan di wilayah yang berdekatan dengan sumber atau lokasi bahan baku agar proses pengadaan serta pengangkutan bahan baku menjadi lebih mudah dan efisien. Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait bahan baku:

1) Kedekatan lokasi sumber bahan baku dengan pabrik

NaOH adalah salah satu bahan baku produksi karboksimetil selulosa, dan dengan melihat produksi natrium hidroksida di Indonesia yang cukup tinggi dimana didominasi oleh perusahaan besar seperti PT Asahimas Chemical di Cilegon, Banten dan PT Sulfindo Adiusaha di Serang, Banten. Perusahaan tersebut dikenal dengan kapasitas produk yang mencapai ratusan ribu ton per tahunnya, sehingga memiliki potensi besar sebagai pemasok bahan baku untuk pabrik karboksimetil selulosa ini.

2) Ketersediaan atau kapasitas bahan baku di sumbernya

Ketersediaan atau kapasitas bahan baku di sumbernya menjadi faktor penting karena hal ini berkaitan dengan kemampuan sumber tersebut untuk memasok bahan baku secara kontinu sesuai dengan kebutuhan produksi pabrik yang akan didirikan. Jika kapasitas bahan baku terbatas atau tidak stabil, maka dapat mengganggu kelancaran

proses produksi di pabrik. Oleh karena itu, perlu dipastikan bahwa sumber bahan baku memiliki cadangan yang memadai dan mampu memenuhi permintaan dalam jangka panjang.

3) Cara penanganan bahan baku

Dapat diketahui bahwa setiap bahan baku memiliki cara penanganan serta penjagaan mutu yang berbeda-beda, sehingga diperlukan perhatian agar tidak memengaruhi kualitas dan kestabilan bahan baku saat penyimpanan ataupun produksi.

4) Peluang memperoleh bahan baku dari sumber alternatif

Dalam pabrik produksi karboksimetil selulosa, terdapat bahan baku lain yang masih mengandalkan impor dari perusahaan luar negeri seperti, *cellulose powder* dan *sodium monochloroacetate* dikarenakan kurangnya produsen untuk bahan baku tersebut di Indonesia. Hal ini tidak sebanding dengan kebutuhan akan bahan baku tersebut, sehingga diperlukan impor.

Aseton yang menjadi pelarut atau bahan penunjang dalam pabrik karboksimetil selulosa ini pun masih perlu mengandalkan impor, dikarenakan belum adanya produsen/pabrik aseton yang beroperasi secara domestik di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari kenaikan angka impor untuk aseton di tiap tahunnya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Sehingga, lokasi pabrik yang baik perlu memiliki akses yang mudah ke pelabuhan agar kegiatan impor bahan baku dapat berjalan lebih lancar.

b. Pemasaran Produk

Pabrik sebaiknya didirikan di lokasi yang dekat dengan industri pengguna karboksimetil selulosa, baik sebagai bahan utama maupun pendukung, sehingga biaya distribusi melalui jalur darat dapat ditekan. Serta lokasi pabrik perlu memiliki akses yang mudah ke pelabuhan agar proses ekspor dapat berlangsung lebih lancar, mengingat produk karboksimetil selulosa yang dihasilkan direncanakan untuk dipasarkan ke luar negeri.

c. Logistik dan Transportasi

Transportasi dinilai sangat penting karena dibutuhkan untuk memudahkan pengangkutan bahan, serta kebutuhan perbaikan, pemeliharaan dan keselamatan kerja. Oleh karena itu, diperlukan pertimbangan untuk membuat akses yang cukup diantara daerah proses produksi karboksimetil selulosa. Aspek transportasi perlu diperhatikan untuk menjamin kelancaran pasokan bahan baku dan distribusi produk, sekaligus menekan biaya operasional agar tetap efisien dalam waktu yang relatif singkat.

Berikut merupakan kondisi akses transportasi di Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten yang terkait dengan rencana pembangunan pabrik karboksimetil selulosa. Secara keseluruhan, fasilitas transportasi di wilayah ini cukup baik sehingga dapat menunjang pengembangan industri tersebut.

1) Akses Darat:

Akses jalan di sekitar pabrik ini tergolong lancar dan mudah dilewati oleh berbagai jenis kendaraan, baik mobil pribadi maupun truk-truk besar. Lokasi pabriknya sendiri sangat strategis karena terhubung langsung dengan Jalan Raya Bojonegara dan Jalan Banten Lama. Karena kondisi jalanan yang lebar dan minim hambatan, kegiatan operasional seperti pengiriman barang dan keluar masuknya karyawan jadi tidak terganggu oleh masalah macet.

2) Akses Laut:

Pemerintah memangkas ongkos logistik dan mengalihkan kepadatan arus barang dari Pelabuhan Tanjung Priok dengan membuka rute ekspor-impor langsung di wilayah Banten. Revitalisasi Pelabuhan Ciwandan dan Merak berhasil memperlancar pemasaran karboksimetil selulosa ke pasar domestik dan luar negeri, seraya memenuhi kebutuhan pengapalan kargo umum serta kendaraan. Keunggulan operasional ini disempurnakan oleh konektivitas darat Merak–Jakarta selaku pintu gerbang Jawa–Sumatera, sehingga pengiriman bahan baku dan produk jadi ke pasar tidak lagi mengalami hambatan geografis.

d. Ketersediaan Air dan Energi (Utilitas)

Kelangsungan operasional dan proses manufaktur di dalam pabrik sangat bergantung pada stabilitas tiga kebutuhan dasar, yaitu pasokan listrik, air, dan bahan bakar. Seluruh sistem pendukung pabrik, mengandalkan daya dari PT Perusahaan Listrik Negara (PLN). Jalur pasokan utamanya bertumpu pada PLN Kramatwatu, yang didukung oleh opsi cadangan

strategis dari PLN ULP Prima Cilegon serta PLN UP3 Serang untuk menjamin kontinuitas energi. Sementara itu, kebutuhan air bersih untuk operasional industri maupun domestik di Kecamatan Kramatwatu sepenuhnya dipasok dari aliran Sungai Berung yang menjadi sumber air baku utama di wilayah tersebut.

e. Tenaga Kerja/Sumber Daya Manusia

Keberadaan tenaga kerja yang terampil dan terdidik sangat penting untuk kelancaran produksi pabrik karboksimetil selulosa (CMC) sekaligus mengontrol efisiensi biaya operasional. Pembangunan pabrik di Serang ini menjadi langkah strategis karena wilayah tersebut memiliki pasokan angkatan kerja yang melimpah dan siap pakai, baik untuk posisi teknis maupun operator lapangan yang mudah melalui proses pelatihan. Kehadiran investasi ini tidak hanya memudahkan manajemen dalam merekrut karyawan dari berbagai jenjang pendidikan, tetapi juga berdampak positif bagi masyarakat sekitar karena dapat membuka lapangan kerja baru, mengurangi pengangguran, dan mendorong pertumbuhan ekonomi lokal.

f. Faktor penunjang yang lain

1) Perizinan

Berdiri di kawasan yang memang dikhususkan pemerintah untuk sektor industri membuat pabrik di Kramatwatu, Serang ini memiliki keunggulan dalam hal legalitas. Status zonasi industri tersebut otomatis mempermudah pihak manajemen dalam mengurus segala bentuk perizinan operasional maupun konstruksi bangunan sejak awal.

2) Area Perluasan Pabrik

Lokasi proyek yang berada di zona pengembangan industri Kabupaten Serang ini menjamin ketersediaan lahan yang lapang dan infrastruktur penunjang yang sudah siap pakai. Karena letak kawasan ini terpisah dari kepadatan penduduk, pihak perusahaan dapat merencanakan perluasan area produksi secara bertahap di masa mendatang tanpa perlu khawatir memicu konflik sosial dengan pemukiman warga.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Menurut Wignjosoebroto (2009), tata letak pabrik mencakup kegiatan perencanaan dan pengaturan posisi mesin, peralatan, aliran material, serta pergerakan tenaga kerja pada setiap stasiun kerja guna mendukung kelancaran operasi. Secara umum, tata letak fasilitas merupakan pengaturan seluruh elemen pabrik dalam suatu area tertentu agar proses produksi dapat berlangsung secara efisien dan efektif antar unit. Penyusunan tata letak yang baik menjadi indikator penting keberhasilan operasional karena mampu meningkatkan produktivitas sekaligus meminimalkan hambatan proses. Dalam perancangannya, penempatan setiap peralatan dan fasilitas harus mempertimbangkan aspek keselamatan, keamanan, dan kenyamanan kerja. Secara keseluruhan, tata letak pabrik meliputi pengaturan area kerja karyawan, lokasi peralatan produksi, fasilitas penyimpanan bahan baku dan produk, serta sarana pendukung lainnya seperti utilitas, ruang terbuka, dan area parkir.

Menurut Peters dan Timmerhaus (2004), tata letak pabrik yang dirancang secara optimal memberikan berbagai manfaat, antara lain:

- a. Menekan biaya produksi melalui peningkatan efisiensi dalam aspek operasional dan sistem logistik.
- b. Mempermudah kegiatan pengawasan dan pengendalian proses produksi sehari-hari.
- c. Meningkatkan tingkat keselamatan kerja di lingkungan pabrik.
- d. Mendukung kelancaran sistem transportasi internal, baik untuk bahan baku maupun produk.
- e. Memudahkan akses terhadap peralatan serta kegiatan perawatan dan pemeliharaan unit proses.

Berbagai aspek yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan tata letak pabrik, serta gambaran umum pembagian area dalam *layout* pabrik, dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Area Utilitas dan *Power Station*

Area ini berfungsi sebagai penyedia seluruh kebutuhan penunjang operasional pabrik, seperti pasokan listrik, air, uap (*steam*), bahan bakar, serta fasilitas keselamatan termasuk sistem pemadam kebakaran.

- b. Area Administrasi/Perkantoran dan Laboratorium

Area administrasi berperan sebagai pusat pengelolaan kegiatan administrasi dan koordinasi operasional pabrik. Laboratorium digunakan untuk kegiatan penelitian dan pengembangan, serta pengendalian mutu dan kuantitas bahan baku, bahan proses, hingga produk akhir.

c. Area Pengolahan Limbah

Area ini bertugas mengolah limbah hasil proses produksi menggunakan metode yang sesuai, serta melakukan pengujian guna memastikan bahwa kandungan zat berbahaya telah memenuhi standar sebelum dibuang ke lingkungan.

d. Area Proses dan Ruang Kontrol

Area proses merupakan lokasi utama kegiatan produksi yang mencakup peralatan, mesin, bahan baku, serta produk. Ruang kontrol digunakan untuk memantau dan mengendalikan jalannya proses secara terpusat agar sesuai dengan kondisi operasi yang direncanakan.

e. Area Pergudangan, Fasilitas Umum, Bengkel, dan Garasi

Area pergudangan berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan baku, bahan penunjang, produk jadi, serta peralatan terkait. Bengkel digunakan untuk kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan, sedangkan garasi sebagai tempat penyimpanan kendaraan operasional pabrik



Gambar 4.2 Tata Letak Pabrik Karboksimetil Selulosa

Berikut merupakan rincian luas tanah dan bangunan pabrik karboksimetil selulosa:

Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik Karboksimetil Selulosa

No	Area	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1.	Pos Keamanan 1	11,5	4	46
2.	Parkir Kendaraan	30	30	900
3.	Mess Karyawan	15	20	300
4.	Klinik	15	8	120
5.	Control Room	15	15	225
6.	Laboratorium	12	12	144
7.	Bengkel Dan Workshop	21	8,50	178,50
8.	Gedung Serbaguna	20	15	300
9.	Control Utilitas	15	10	150
10.	Unit Pemadam Kebakaran	12	8	96
11.	Kantin	8	10	80
12.	Masjid	10	8	80
13.	Taman 1	10	23,25	232,5
14.	Kantor Utama	30	20	600
15.	Kantor Teknik Dan Produksi	25	20	500
16.	Taman 2	15	20	300
17.	Pos Keamanan 2	8	20	160
18.	Pengolahan Limbah	30	30	900
19.	Gudang Alat	48	10	480
20.	Gudang Produk	20	15	300
21.	Gudang Bahan Baku	25	15	375
22.	Parkir Truk	40	40	1.600
23.	Area Proses	127,50	120	15.300
24.	Area Utilitas	27,60	27,60	761,82
25.	Jalan	52,50	677,38	35.562,56
Luas Total (m²)				85.103,5591
Luas Tanah (m²)				102.124,2709

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

Tata letak peralatan proses pada pabrik CMC ini dirancang berdasarkan urutan aliran proses (*process flow*) secara sistematis dengan mengacu pada prinsip-

prinsip *plant layout* dalam desain industri kimia. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan, kemudahan operasional, keandalan sistem, serta efisiensi biaya investasi dan operasional. Penataan peralatan harus mampu menjamin kelancaran aliran material dan energi, sekaligus meminimalkan potensi bahaya sehingga target operasi yang aman (*zero accident*) dapat dicapai. Oleh karena itu, perancangan tata letak peralatan proses mengacu pada beberapa kriteria dan heuristik berikut:

- a. Keterpaduan aliran proses (*process integration*), yaitu penempatan peralatan mengikuti urutan proses untuk meminimalkan *backtracking*, kehilangan tekanan, serta kebutuhan energi pompa dan kompresor.
- b. Minimisasi jarak perpindahan material (*material handling*) guna mengurangi biaya transportasi internal dan potensi kehilangan bahan.
- c. Aksesibilitas dan *maintainability*, yaitu penyediaan ruang yang cukup untuk operasi, inspeksi, perawatan, serta penggantian peralatan sesuai standar industri.
- d. Aspek keselamatan dan *loss prevention*, meliputi pengaturan jarak aman antar peralatan, pemisahan unit berisiko tinggi, penyediaan jalur evakuasi, serta kemudahan akses terhadap sistem proteksi kebakaran.
- e. Kemudahan distribusi utilitas, seperti jaringan steam, air pendingin, listrik, dan udara tekan, agar terintegrasi dan efisien.
- f. Fleksibilitas dan ekspansi, yaitu penyediaan ruang untuk pengembangan kapasitas atau penambahan unit di masa mendatang.

- g. Pertimbangan topografi dan konstruksi, termasuk kondisi lahan, kemudahan pembangunan, serta efisiensi biaya instalasi.
- h. Kesesuaian dengan standar dan regulasi, seperti standar keselamatan industri, lingkungan, dan praktik rekayasa yang berlaku.

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaturan alur bahan baku dan barang jadi yang tepat sangat penting untuk menekan biaya produksi dan menjaga keamanan kerja. Tata letak yang rapi akan mempercepat perpindahan barang, mencegah kerusakan, serta meminimalisir risiko tercemar. Selain itu, alur yang teratur juga memudahkan proses pengawasan dan pengecekan kualitas menjadi jauh lebih mudah.

4.3.2 Aliran Udara

Sirkulasi udara di dalam dan sekitar ruang produksi harus benar-benar terjaga dengan baik. Aliran udara dan ventilasi yang cukup sangat penting untuk mencegah gas kimia berbahaya mengumpul di satu sudut. Jika dibiarkan menumpuk, hal ini bisa membahayakan kesehatan dan keselamatan pekerja.

4.3.3 Pencahayaan

Sistem pencahayaan di seluruh area pabrik harus cukup terang. Khusus untuk ruang produksi yang rawan kecelakaan atau berisiko tinggi, wajib dipasang lampu tambahan.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Penataan posisi mesin dan alat produksi harus dibuat sedemikian rupa agar operator bisa menjangkaunya dengan cepat dan mudah. Hal ini sangat penting supaya setiap kendala teknis dapat segera ditangani tanpa membuang waktu. Selain

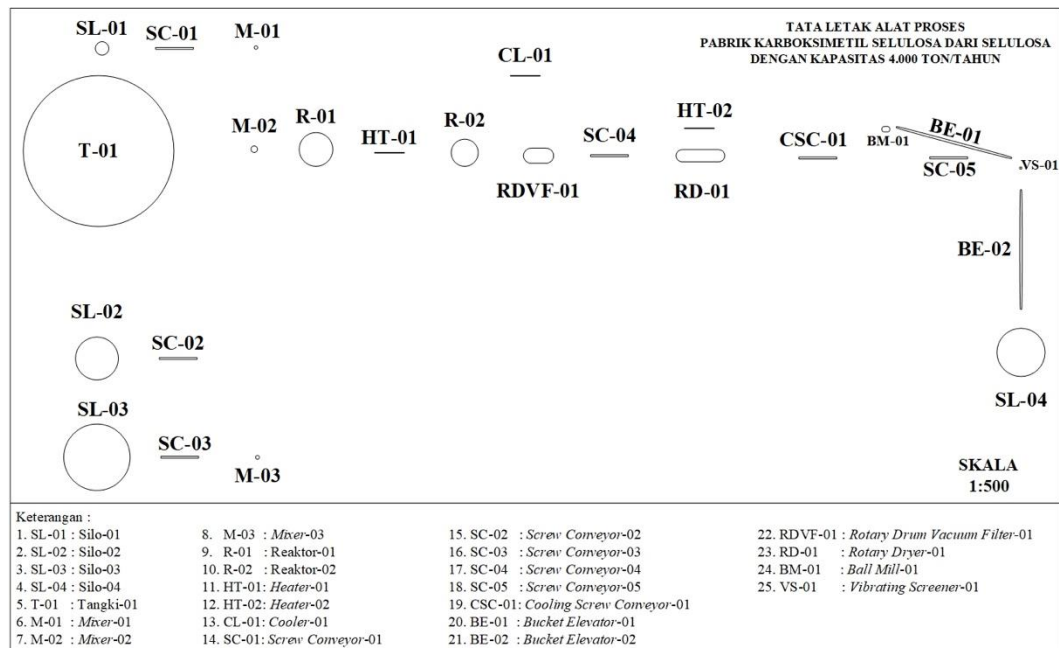
itu, faktor keselamatan kerja wajib menjadi fokus utama dalam penyusunan tata letak demi menjaga keamanan serta kenyamanan selama proses operasional.

4.3.5 Maintenance

Kegiatan perawatan dan perbaikan (*maintenance*) fasilitas pabrik sangat penting untuk menjaga kelancaran proses produksi serta mempertahankan produktivitas yang tinggi. Kondisi ini mendukung tercapainya target kerja dan kesesuaian mutu bahan yang diolah. Pemeliharaan pencegahan wajib dijalankan setiap hari demi menghindari kerusakan mesin sekaligus menjaga kebersihan area kerja. Di sisi lain, perawatan berkala dilakukan secara rutin mengikuti jadwal dan panduan teknis yang berlaku.

4.3.6 Jarak Antara Alat Proses

Penentuan ruang antar mesin menjadi faktor krusial dalam menyusun tata letak pabrik demi menjamin kelancaran sirkulasi barang, kecepatan mobilisasi bahan, dan keselamatan kerja. Pengaturan celah ini wajib memperhitungkan keleluasaan akses, ruang kerja operator, rencana pengembangan area ke depan, serta indikator bahaya seperti temperatur, tekanan, dan risiko dari tiap perangkat produksi. Melalui penempatan yang presisi, operasional pabrik akan berjalan lebih maksimal dan potensi hambatan bisa ditekan sekecil mungkin.



Gambar 4.3 Tata Letak Alat Proses Produksi Karboksimetil Selulosa

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Pabrik karboksimetil selulosa yang direncanakan akan didirikan menggunakan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT). PT adalah jenis perusahaan yang memperoleh modal dari penjualan saham kepada investor. Setiap orang atau pihak yang memiliki saham, baik satu maupun lebih, secara otomatis menjadi bagian dari pemilik perusahaan tersebut. Pada badan usaha berbentuk PT, tanggung jawab pemegang saham terbatas pada jumlah modal yang telah disetorkan sesuai nilai saham yang dimiliki, karena saham pada dasarnya merupakan bukti kepemilikan modal di dalam perusahaan.

Perusahaan dengan skala besar umumnya memilih bentuk Perseroan Terbatas (PT) karena memiliki kedudukan hukum yang jelas dan diatur dalam peraturan perundang-undangan. PT juga dianggap sebagai badan hukum yang

terpisah dari pemiliknya, sehingga pengelolaan perusahaan dapat dilakukan dengan lebih teratur dan profesional. Selain itu, bentuk usaha ini memberikan kepastian hukum bagi perusahaan maupun para pemegang sahamnya. Oleh karena itu, terdapat beberapa pertimbangan yang mendasari pemilihan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT), antara lain sebagai berikut:

- a. Modal perusahaan lebih mudah diperoleh, baik melalui penjualan saham kepada investor maupun dari pinjaman bank.
- b. Harta pribadi milik pemegang saham terpisah dari aset perusahaan secara hukum, sehingga keduanya tidak tercampur.
- c. Manajemen perusahaan dapat lebih fokus menjalankan dan mengawasi kelancaran proses produksi karena tanggung jawab pemegang saham terbatas pada modal yang ditanamkan.
- d. Pemilik perusahaan dan pihak pengelola memiliki peran yang berbeda. Pemegang saham bertindak sebagai pemilik perusahaan, sedangkan kegiatan operasional dijalankan oleh direksi dan staf yang pengawasannya dilakukan oleh dewan komisaris. Dengan sistem ini, keberlangsungan perusahaan lebih terjamin dan tidak bergantung pada satu orang tertentu.
- e. Pemegang saham dapat memilih dewan komisaris dan direktur utama yang memiliki kemampuan serta pengalaman yang baik agar pengelolaan perusahaan menjadi lebih efektif dan efisien.
- f. Kesempatan untuk mengembangkan usaha menjadi lebih besar karena perusahaan dapat menghimpun modal dalam jumlah besar dari masyarakat atau investor.

- g. Perusahaan lebih mudah memperoleh pinjaman atau fasilitas kredit dari bank dengan jaminan atas nama perusahaan.
- h. Kepemilikan saham dapat berpindah tangan tanpa mengganggu jalannya perusahaan, sehingga kelangsungan usaha tetap terjaga.
- i. Sumber modal utama perusahaan berasal dari hasil penjualan saham kepada para investor.

Beberapa karakteristik dari perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) adalah sebagai berikut:

- a. Pendirian perusahaan dilakukan melalui akta notaris yang mengacu pada ketentuan dalam Kitab Undang-Undang Hukum Dagang.
- b. Akta pendirian perusahaan memuat ketentuan mengenai besarnya modal perusahaan yang terbagi dalam bentuk saham.
- c. Kepemilikan perusahaan berada di tangan para pemegang saham sesuai jumlah saham yang dimiliki.
- d. Para pemegang saham memiliki wewenang untuk menunjuk direktur yang bertugas memimpin dan menjalankan kegiatan perusahaan.
- e. Pengelolaan dan pembinaan tenaga kerja menjadi tanggung jawab direktur dengan tetap mengikuti peraturan ketenagakerjaan yang berlaku.

4.4.2 Struktur Perusahaan

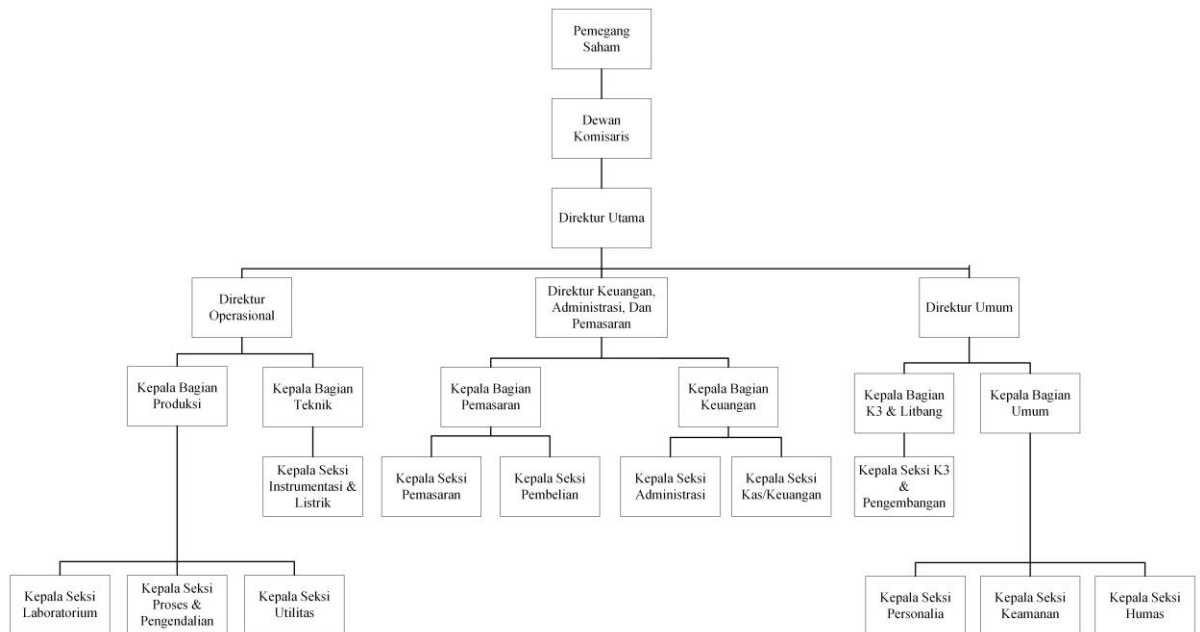
Untuk menunjang pelaksanaan seluruh aktivitas perusahaan secara efektif dan efisien, diperlukan suatu struktur organisasi yang jelas dan terencana. Struktur organisasi yang baik memungkinkan setiap posisi memahami batas tugas, wewenang, dan tanggung jawabnya masing-masing, sehingga tercipta koordinasi

kerja yang optimal. Dengan demikian, struktur organisasi dapat menggambarkan hubungan antar bagian, kedudukan jabatan, serta pembagian tugas dan tanggung jawab setiap personel dalam perusahaan.

Dalam sistem organisasi garis dan staf (*line and staff organization*), terdapat dua kelompok utama yang berperan dalam menjalankan fungsi organisasi. Kelompok pertama adalah lini (*line*), yaitu individu atau unit yang secara langsung melaksanakan kegiatan utama perusahaan dalam rangka mencapai tujuan organisasi. Kelompok kedua adalah staf, yaitu tenaga ahli yang memberikan dukungan teknis dan saran kepada unit lini untuk meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan dan pelaksanaan operasional.

Dalam pelaksanaan wewenang perusahaan, para pemegang saham sebagai pemilik perusahaan diwakili oleh dewan komisaris yang bertugas melakukan pengawasan terhadap jalannya perusahaan. Sementara itu, kegiatan operasional sehari-hari dipimpin oleh direktur utama yang dibantu oleh para direktur di bawahnya. Baik dewan komisaris maupun direktur utama dipilih melalui Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) sebagai pemegang kekuasaan tertinggi dalam perusahaan.

Berikut gambar struktur organisasi perusahaan:



Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan

4.4.3 Uraian Tugas, Wewenang, dan Tanggung Jawab

a. Pemegang Saham

1) Tugas

- Menetapkan arah dan tujuan umum perusahaan.
- Mengawasi kinerja perusahaan secara umum melalui mekanisme RUPS.
- Menilai laporan tahunan dan kinerja manajemen.

2) Wewenang

- Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris dan Direksi.
- Menyetujui laporan keuangan dan laporan tahunan perusahaan.
- Menentukan pembagian laba (dividen).

- Memberikan persetujuan terhadap kebijakan strategis, seperti investasi besar dan ekspansi usaha.

3) Tanggung Jawab

- Menanggung risiko kerugian perusahaan sebatas modal yang ditanamkan.
- Mendukung keberlangsungan perusahaan melalui penyertaan modal.
- Mematuhi ketentuan dan peraturan yang berlaku dalam perusahaan.

b. Dewan Komisaris

1) Tugas

- Melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan kebijakan dan pengelolaan perusahaan oleh Direksi.
- Menilai kinerja Direksi serta memberikan saran perbaikan untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan perusahaan.
- Memberikan arahan dan pertimbangan kepada Direksi dalam menjalankan kegiatan operasional.
- Memantau pelaksanaan rencana bisnis serta memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan ketentuan yang berlaku.

2) Wewenang

- Mengakses dan memeriksa dokumen, laporan, serta aset perusahaan sesuai kebutuhan pengawasan.

- Meminta laporan dari Direksi, baik secara berkala maupun sewaktu-waktu apabila diperlukan.
- Mengusulkan penyelenggaraan Rapat Umum Pemegang Saham Luar Biasa (RUPSLB) dalam kondisi tertentu.
- Membentuk dan mengangkat komite pendukung, seperti Komite Audit, guna menunjang fungsi pengawasan.

3) Tanggung Jawab

- Memastikan penerapan prinsip tata kelola perusahaan yang baik (*good corporate governance*).
- Menjaga kepentingan perusahaan, pemegang saham, serta seluruh pemangku kepentingan lainnya.
- Bertanggung jawab secara pribadi maupun kolektif atas kerugian perusahaan yang timbul akibat kelalaian atau kesalahan dalam menjalankan tugas.

c. Direktur

1) Tugas

- Menetapkan visi, misi, serta arah strategis perusahaan sebagai pedoman dalam pengelolaan usaha.
- Mengawasi pencapaian target perusahaan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.
- Memimpin dan mengoordinasikan rapat manajemen tingkat atas guna memastikan keselarasan kebijakan.

- Menentukan kebijakan strategis terkait investasi, pengembangan usaha, serta arah bisnis perusahaan.

2) Wewenang

- Mengambil keputusan akhir dalam penyelesaian permasalahan atau konflik internal perusahaan.
- Menyetujui atau menolak rencana kerja dan anggaran yang diajukan oleh manajemen di bawahnya.
- Menunjuk dan memberhentikan manajer sesuai dengan ketentuan dan prosedur yang berlaku.
- Menjalin dan menetapkan kerja sama strategis dengan pihak eksternal untuk mendukung pengembangan perusahaan.

3) Tanggung Jawab

- Bertanggung jawab atas kinerja perusahaan secara menyeluruh, baik keberhasilan maupun kegagalan operasional.
- Menjamin tercapainya sasaran perusahaan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.
- Memelihara hubungan yang baik dengan pemegang saham, pemerintah, serta mitra usaha.

d. Kepala Bagian

1) Tugas

- Mengendalikan pelaksanaan kegiatan operasional pada bagian yang dipimpinnya agar berjalan sesuai rencana.

- Menyusun rencana kerja dan program kegiatan sebagai pedoman pelaksanaan tugas.
- Mengawasi kinerja kepala seksi dan staf di bawahnya.
- Melakukan koordinasi dengan bagian lain guna menunjang kelancaran operasional perusahaan.

2) Wewenang

- Memberikan arahan dan instruksi kepada Kepala Seksi dan karyawan di bawahnya.
- Mengusulkan kebutuhan tenaga kerja, anggaran, serta sarana pendukung operasional.
- Mengevaluasi kinerja bawahan serta memberikan rekomendasi perbaikan.
- Mengambil keputusan operasional dalam lingkup bagian yang dipimpinnya.

3) Tanggung Jawab

- Bertanggung jawab atas kinerja dan pencapaian target pada bagian yang dipimpinnya.
- Menjamin kegiatan operasional berjalan efektif, efisien, dan sesuai prosedur.
- Melaporkan hasil kegiatan kepada manajemen tingkat atas secara berkala.

e. Kepala Saksi

1) Tugas

- Melaksanakan kegiatan operasional sesuai dengan rencana kerja yang telah ditetapkan.
- Mengawasi dan mengoordinasikan karyawan dalam pelaksanaan tugas harian.
- Menyusun laporan kegiatan operasional secara berkala.
- Menjaga kelancaran proses kerja di unit yang menjadi tanggung jawabnya.

2) Wewenang

- Memberikan instruksi langsung kepada karyawan dalam pelaksanaan pekerjaan.
- Mengatur pembagian tugas dan jadwal kerja karyawan di unitnya.
- Mengusulkan kebutuhan peralatan, bahan, dan tenaga kerja kepada Kepala Bagian.
- Mengambil keputusan teknis dalam lingkup operasional sehari-hari.

3) Tanggung Jawab

- Bertanggung jawab atas pelaksanaan kegiatan operasional di unitnya.
- Menjamin pekerjaan dilaksanakan sesuai dengan standar operasional yang berlaku.
- Melaporkan hasil kerja dan permasalahan yang terjadi kepada Kepala Bagian.

f. Karyawan/Operator

1) Tugas

- Melaksanakan pekerjaan operasional sesuai dengan instruksi dan standar operasional prosedur (SOP) yang berlaku.
- Mengoperasikan peralatan proses, utilitas, maupun fasilitas pendukung sesuai dengan bidang tugasnya.
- Memantau kondisi peralatan dan parameter operasi selama proses berlangsung.
- Menjaga kebersihan, ketertiban, dan keselamatan kerja di area operasional.

2) Wewenang

- Mengoperasikan peralatan sesuai dengan prosedur dan kewenangan yang diberikan.
- Melaporkan kondisi tidak normal atau potensi gangguan kepada atasan.
- Menghentikan sementara operasi apabila terjadi kondisi yang membahayakan, sesuai prosedur keselamatan.
- Memberikan masukan terkait perbaikan operasional kepada atasan.

3) Tanggung Jawab

- Bertanggung jawab atas pelaksanaan pekerjaan sesuai tugas yang diberikan.

- Menjamin kegiatan operasional berjalan sesuai dengan standar keselamatan dan kualitas.
- Menjaga serta menggunakan peralatan kerja dengan baik dan benar.
- Melaporkan hasil pekerjaan dan kendala yang terjadi kepada atasan secara tepat waktu.

g. Dokter

1) Tugas

- Menangani kasus kecelakaan kerja serta penyakit akibat kerja (PAK) secara tepat dan profesional.
- Melaksanakan pemeriksaan kesehatan karyawan, baik sebelum bekerja, secara berkala, maupun pemeriksaan khusus sesuai kebutuhan.
- Menyusun dan menyampaikan laporan kesehatan karyawan kepada manajemen serta instansi terkait.
- Memberikan edukasi mengenai kesehatan dan keselamatan kerja kepada seluruh karyawan.

2) Wewenang

- Menentukan kondisi kelayakan kerja karyawan berdasarkan hasil pemeriksaan medis.
- Memberikan rujukan ke fasilitas pelayanan kesehatan lanjutan apabila diperlukan.

- Mengusulkan program peningkatan kesehatan kerja sebagai bagian dari penerapan K3.

3) Tanggung Jawab

- Menjamin terselenggaranya pelayanan medis yang memadai di lingkungan perusahaan.
- Menjaga kerahasiaan data dan informasi medis karyawan.
- Mendukung pelaksanaan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) secara menyeluruh.

h. Perawat

1) Tugas

- Memberikan pelayanan medis dasar kepada karyawan sesuai kewenangan.
- Membantu pelaksanaan pemeriksaan kesehatan karyawan.
- Menyiapkan peralatan dan kebutuhan medis di fasilitas kesehatan perusahaan.
- Mencatat dan mendokumentasikan data kesehatan karyawan.

2) Wewenang

- Melakukan tindakan keperawatan sesuai kompetensi dan instruksi dokter.
- Memberikan pertolongan pertama pada kecelakaan kerja.
- Mengusulkan kebutuhan peralatan dan perlengkapan medis.

3) Tanggung Jawab

- Menjamin pelayanan keperawatan berjalan dengan baik dan sesuai prosedur.
- Menjaga kebersihan serta kesiapan fasilitas kesehatan.
- Mendukung pelaksanaan program kesehatan dan keselamatan kerja (K3).

i. Satpam

1) Tugas

- Melaksanakan pengawasan terhadap keluar masuknya orang dan barang di area pabrik.
- Menjaga keamanan dan ketertiban lingkungan kerja.
- Melakukan patroli secara berkala di area perusahaan.
- Menangani dan melaporkan kejadian yang berpotensi mengganggu keamanan.

2) Wewenang

- Memeriksa identitas tamu dan kendaraan yang masuk ke area perusahaan.
- Melakukan tindakan pengamanan sesuai prosedur yang berlaku.
- Mengambil langkah awal dalam penanganan situasi darurat.

3) Tanggung Jawab

- Menjamin keamanan lingkungan perusahaan dari gangguan internal maupun eksternal.
- Menjaga ketertiban dan kedisiplinan di area kerja.

- Melaporkan setiap kejadian penting kepada atasan secara tepat waktu.

j. Supir

1) Tugas

- Mengoperasikan kendaraan operasional untuk keperluan perusahaan.
- Mengantarkan karyawan, tamu, atau barang sesuai kebutuhan operasional.
- Memastikan kendaraan dalam kondisi baik sebelum digunakan.
- Melakukan perawatan ringan terhadap kendaraan.

2) Wewenang

- Menggunakan kendaraan operasional sesuai penugasan.
- Menolak penggunaan kendaraan yang tidak layak jalan demi keselamatan.
- Mengusulkan perawatan atau perbaikan kendaraan.

3) Tanggung Jawab

- Menjamin keselamatan selama perjalanan.
- Menjaga kondisi dan kebersihan kendaraan operasional.
- Mematuhi peraturan lalu lintas dan ketentuan perusahaan.

k. Cleaning Service

1) Tugas

- Membersihkan area kerja, perkantoran, dan fasilitas umum secara rutin.

- Mengelola kebersihan lingkungan pabrik agar tetap rapi dan nyaman.
- Menangani pembuangan sampah sesuai prosedur yang berlaku.
- Menjaga ketersediaan perlengkapan kebersihan.

2) Wewenang

- Menggunakan peralatan kebersihan yang disediakan perusahaan.
- Mengatur jadwal pembersihan sesuai kebutuhan operasional.
- Mengusulkan kebutuhan perlengkapan kebersihan.

3) Tanggung Jawab

- Menjamin kebersihan dan kenyamanan lingkungan kerja.
- Menjaga peralatan kebersihan agar tetap dalam kondisi baik.
- Mendukung terciptanya lingkungan kerja yang sehat dan aman.

4.4.4 Pengaturan Jam Kerja

Pabrik karboksimetil selulosa berbahan baku selulosa direncanakan beroperasi secara kontinu selama 330 hari dalam satu tahun dengan waktu operasi 24 jam setiap harinya. Hari di luar jadwal operasi digunakan untuk kegiatan perawatan alat (*maintenance*), perbaikan, serta penghentian operasi sementara (*shutdown*). Berdasarkan pengaturan waktu kerjanya, tenaga kerja di pabrik ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

a. Karyawan *Non-Shift*

Karyawan *non-shift* merupakan pekerja yang menjalankan jam kerja reguler selama 5 hari kerja dengan total waktu kerja 40 jam setiap minggu.

Hari Sabtu, Minggu, dan hari libur nasional digunakan sebagai waktu libur kerja. Kelompok karyawan ini umumnya tidak terlibat langsung dalam kegiatan proses produksi di pabrik.

Yang termasuk dalam karyawan *non-shift* antara lain direktur utama, direktur teknik dan produksi, direktur administrasi, keuangan dan umum, kepala bagian, serta staf lain yang bekerja di lingkungan perkantoran. Adapun ketentuan jam kerja untuk karyawan *non-shift* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Jadwal Jam Kerja Karyawan *Non-Shift*

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin - Kamis	07.00 - 16.00	12.00 - 13.00
Jum'at	07.00 - 17.00	11.00 - 13.00

b. Karyawan Shift

Karyawan *shift* merupakan tenaga kerja yang terlibat langsung dalam proses produksi serta bertanggung jawab menjaga kelancaran operasional pabrik dan aspek keamanan selama kegiatan produksi berlangsung 24 jam penuh. Kelompok karyawan ini mencakup operator produksi, bagian teknik, bagian gudang, serta personel lain yang harus selalu siaga untuk memastikan proses produksi dan keamanan pabrik tetap berjalan dengan baik.

Sistem kerja *shift* diterapkan agar kegiatan produksi dapat berlangsung secara terus-menerus. Sistem ini diterapkan karena bagian-bagian dalam proses produksi harus tetap beroperasi secara berkelanjutan selama 24 jam tanpa henti. Karyawan *shift* bekerja secara bergantian sesuai

jadwal yang telah ditetapkan, dengan waktu kerja selama 6 hari dalam satu minggu. Pembagian jam kerja dilakukan menggunakan sistem rotasi yang terbagi menjadi tiga *shift*, yaitu *shift* pagi, *shift* sore, dan *shift* malam. Adapun rincian pembagian jam kerja karyawan *shift* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Jadwal Jam Kerja Karyawan *Shift*

Kelompok Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat
<i>Shift</i> 1	07.00 - 15.00	11.00 - 12.00
<i>Shift</i> 2	15.00 - 23.00	19.00 - 20.00
<i>Shift</i> 3	23.00 - 07.00	03.00 - 04.00

Karyawan yang bekerja dengan sistem *shift* akan dibagi menjadi empat kelompok, yaitu kelompok A, B, C, dan D. Dalam satu hari, hanya tiga kelompok yang bertugas, sementara satu kelompok lainnya mendapat jadwal libur secara bergantian. Setiap *shift* berlangsung selama 8 jam per hari, dan pergantian *shift* dilakukan setiap tiga hari kerja. Dengan sistem tersebut, masing-masing kelompok menjalani pola kerja bergilir dengan jadwal libur yang teratur setiap minggunya.

Apabila hari libur nasional atau hari besar bertepatan dengan jadwal kerja suatu kelompok, maka kelompok tersebut tetap menjalankan tugas seperti biasa. Jam kerja pada hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur sehingga karyawan berhak memperoleh tambahan insentif sesuai ketentuan perusahaan yang berlaku.

Setiap *shift* dipimpin oleh seorang kepala *shift* yang bertanggung jawab mengawasi jalannya operasional selama jam kerja berlangsung. Adapun pembagian jadwal kerja untuk masing-masing kelompok adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 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. 5 Jadwal Kerja Setiap Kelompok (Lanjutan)

Kelompok	Tanggal															
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
A	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M
B	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L
C	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P
D	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S

Keterangan:

P = Shift Pagi (07.00 – 15.00)

S = Shift Sore (15.00 – 23.00)

M = Shift Malam (23.00 – 07.00)

L = Libur

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Tingkat Pendidikan

Dalam perusahaan ini, tenaga kerja dikelompokkan berdasarkan jenjang jabatan dan divisi sesuai dengan struktur organisasi yang bersifat fungsional-hierarkis. Setiap posisi ditetapkan dengan persyaratan tingkat pendidikan minimal yang relevan dengan bidang tugas dan keahlian yang dibutuhkan. Penetapan kualifikasi tersebut bertujuan untuk menjamin bahwa setiap karyawan memiliki kompetensi yang memadai dalam melaksanakan tanggung jawabnya secara efektif dan profesional. Adapun rincian jumlah tenaga kerja serta kualifikasi pendidikan minimal untuk masing-masing jabatan di pabrik ini disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Tingkat Pendidikan Tenaga Kerja

No	Jabatan	Jumlah	Tingkat Pendidikan
1.	Direktur Utama	1	S1/S2 Teknik Kimia/Manajemen/Industri
2.	Direktur Umum	1	S1 Manajemen/Hukum/Psikologi
3.	Direktur Operasional	1	S1/S2 Teknik Kimia/Teknik Industri
4.	Direktur Keuangan, Administrasi, dan Pemasaran	1	S1/S2 Ekonomi/Manajemen/Akuntansi
5.	Kepala Bagian Umum	1	S1 Manajemen/Administrasi
6.	Kepala Bagian Pemasaran	1	S1 Manajemen Pemasaran
7.	Kepala Bagian Keuangan	1	S1 Akuntansi/Keuangan
8.	Kepala Bagian Teknik	1	S1 Teknik Mesin/Elektro
9.	Kepala Bagian Produksi	1	S1 Teknik Kimia
10.	Kepala Bagian Litbang	1	S1/S2 Teknik Kimia/Kimia
11.	Kepala Seksi Personalia	1	S1 Manajemen/Psikologi
12.	Kepala Seksi Humas	1	S1 Ilmu Komunikasi
13.	Kepala Seksi Keamanan	1	D3/S1 (Pengalaman Keamanan)
14.	Kepala Seksi Pembelian	1	S1 Manajemen/Logistik
15.	Kepala Seksi Pemasaran	1	S1 Manajemen Pemasaran
16.	Kepala Seksi Administrasi	1	S1 Administrasi/Manajemen
17.	Kepala Seksi Kas/Anggaran	1	S1 Akuntansi
18.	Kepala Seksi Proses	1	S1 Teknik Kimia
19.	Kepala Seksi Pengendalian	1	S1 Kimia/Teknik Kimia

No	Jabatan	Jumlah	Tingkat Pendidikan
20.	Kepala Seksi Utilitas	1	S1 Teknik Mesin/Teknik Kimia
21.	Kepala Seksi Pengembangan	1	S1/S2 Teknik Kimia/Kimia
22.	Kepala Seksi Intrumentasi & Listrik	1	S1 Teknik Elektro
23.	Karyawan Personalia	2	D3/S1 Manajemen/Psikologi
24.	Karyawan Humas	2	D3/S1 Komunikasi
25.	Karyawan Pembelian	2	D3/S1 Manajemen
26.	Karyawan Pemasaran	2	D3/S1 Manajemen
27.	Karyawan Administrasi dan Keuangan	3	D3/S1 Akuntansi/Administrasi
28.	Karyawan Proses	6	SMK/D3 Teknik Kimia
29.	Karyawan Pengendalian	3	D3 Kimia/Analisis Kimia
30.	Karyawan Laboratorium	3	D3 Kimia/Analisis
31.	Karyawan Pemeliharaan	6	SMK/D3 Teknik Mesin/Elektro
32.	Karyawan Utilitas	6	SMK/D3 Teknik
33.	Karyawan K3	2	D3/S1 K3/Teknik Lingkungan
34.	Karyawan Litbang	3	S1 Kimia/Teknik Kimia
35.	Operator Proses	21	SMK/D3 Teknik Kimia
36.	Operator Utilitas	13	SMK/D3 Teknik Mesin/Elektro
37.	Dokter	2	S1 Kedokteran
38.	Perawat	4	D3/S1 Keperawatan
39.	Satpam	6	SMA + Pelatihan
40.	Supir	6	SMA + SIM
41.	<i>Cleaning Service</i>	5	SMP/SMA/SMK
Total		119	

4.4.6 Sistem Gaji Karyawan

Jumlah tenaga kerja ditetapkan sesuai dengan kebutuhan operasional agar setiap pekerjaan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Rincian jumlah tenaga kerja beserta sistem penggajiannya disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 4. 7 Gaji Tenaga Kerja

No	Jabatan	Jumlah	Gaji per Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
1.	Direktur Utama	1	30.000.000	30.000.000
2.	Direktur Umum	1	22.000.000	22.000.000
3.	Direktur Operasional	1	22.000.000	22.000.000
4.	Direktur Keuangan, Administrasi, dan Pemasaran	1	22.000.000	22.000.000
5.	Kepala Bagian Umum	1	14.000.000	14.000.000
6.	Kepala Bagian Pemasaran	1	14.000.000	14.000.000
7.	Kepala Bagian Keuangan	1	14.000.000	14.000.000
8.	Kepala Bagian Teknik	1	14.000.000	14.000.000
9.	Kepala Bagian Produksi	1	14.000.000	14.000.000
10.	Kepala Bagian Litbang	1	14.000.000	14.000.000
11.	Kepala Seksi Personalia	1	11.000.000	11.000.000
12.	Kepala Seksi Humas	1	11.000.000	11.000.000
13.	Kepala Seksi Keamanan	1	11.000.000	11.000.000
14.	Kepala Seksi Pembelian	1	11.000.000	11.000.000
15.	Kepala Seksi Pemasaran	1	11.000.000	11.000.000
16.	Kepala Seksi Administrasi	1	11.000.000	11.000.000
17.	Kepala Seksi Kas/Anggaran	1	11.000.000	11.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji per Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
18.	Kepala Seksi Proses	1	11.000.000	11.000.000
19.	Kepala Seksi Pengendalian	1	11.000.000	11.000.000
20.	Kepala Seksi Utilitas	1	11.000.000	11.000.000
21.	Kepala Seksi Pengembangan	1	11.000.000	11.000.000
22.	Kepala Seksi Intrumentasi & Listrik	1	11.000.000	11.000.000
23.	Karyawan Personalia	2	8.500.000	17.000.000
24.	Karyawan Humas	2	8.500.000	17.000.000
25.	Karyawan Pembelian	2	8.500.000	17.000.000
26.	Karyawan Pemasaran	2	8.500.000	17.000.000
27.	Karyawan Administrasi dan Keuangan	3	8.500.000	25.500.000
28.	Karyawan Proses	6	8.500.000	51.000.000
29.	Karyawan Pengendalian	3	8.500.000	25.500.000
30.	Karyawan Laboratorium	3	8.500.000	25.500.000
31.	Karyawan Pemeliharaan	6	8.500.000	51.000.000
32.	Karyawan Utilitas	6	8.500.000	51.000.000
33.	Karyawan K3	2	8.500.000	17.000.000
34.	Karyawan Litbang	3	8.500.000	25.500.000
35.	Operator Proses	21	7.500.000	157.500.000
36.	Operator Utilitas	13	7.500.000	97.500.000
37.	Dokter	2	9.500.000	19.000.000
38.	Perawat	4	7.700.000	30.800.000
39.	Satpam	6	6.500.000	43.200.000
40.	Supir	6	6.500.000	43.200.000
41.	<i>Cleaning Service</i>	5	6.500.000	36.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji per Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
	Total	119	465.700.000	1.067.300.000

Pembayaran gaji karyawan dilakukan setiap tanggal 1 setiap bulan kepada seluruh karyawan. Apabila tanggal tersebut bertepatan dengan hari libur, maka pembayaran gaji dilaksanakan pada hari kerja sebelumnya.

4.4.7 Fasilitas Dan Hak Karyawan

Setiap karyawan memiliki hak ketenagakerjaan yang telah diatur dalam peraturan perundang-undangan yang berlaku. Untuk mendukung kenyamanan, keselamatan, dan kelancaran aktivitas kerja, perusahaan juga menyediakan berbagai fasilitas serta hak bagi karyawan. Adapun fasilitas dan hak yang diberikan perusahaan kepada karyawan antara lain sebagai berikut:

a. Hak Karyawan

Hak karyawan terdiri dari:

1. Tunjangan

Perusahaan memberikan beberapa jenis tunjangan kepada karyawan sebagai bentuk dukungan dan penghargaan terhadap pekerjaan yang dilakukan. Tunjangan tersebut meliputi gaji pokok yang diberikan sesuai golongan masing-masing karyawan, tunjangan jabatan berdasarkan posisi atau jabatan yang dipegang, serta tunjangan lembur bagi karyawan yang bekerja di luar jam kerja normal yang besarnya disesuaikan dengan jumlah jam lembur. Selain itu, perusahaan juga memberikan Tunjangan Hari Raya (THR) kepada karyawan setiap menjelang Hari Raya Idul Fitri sebesar satu kali gaji bulanan.

2. Cuti

- Cuti Tahunan

Setiap karyawan berhak memperoleh cuti tahunan selama maksimal 12 hari kerja dalam satu tahun. Hak cuti tersebut harus digunakan pada tahun yang sama dan tidak dapat diakumulasikan atau dipindahkan ke tahun berikutnya. Apabila cuti tahunan tidak digunakan dalam periode tersebut, maka hak cuti akan dianggap gugur.

- Cuti Bersama/Massal

Perusahaan memberikan cuti bersama kepada karyawan selama 4 hari kerja setiap tahun yang dijadwalkan bertepatan dengan perayaan Idul Fitri. Kebijakan ini diberikan agar karyawan memiliki kesempatan untuk merayakan hari raya dan berkumpul bersama keluarga.

- Cuti Sakit

Cuti sakit diberikan kepada karyawan yang tidak dapat bekerja karena kondisi kesehatan dan harus disertai dengan surat keterangan dokter. Ketentuan ini juga berlaku bagi karyawan wanita yang akan melahirkan, di mana perusahaan memberikan hak cuti melahirkan selama 3 bulan dengan gaji tetap dibayarkan. Pemberian cuti melahirkan tersebut berlaku dengan ketentuan jarak kelahiran antara anak pertama dan anak kedua minimal 2 tahun.

3. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan *non-shift*, hari libur nasional ditetapkan sebagai hari libur kerja. Sementara itu, karyawan shift tetap menjalankan tugas sesuai jadwal kerja yang telah ditentukan meskipun bertepatan dengan hari libur nasional. Jam kerja pada hari tersebut akan dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*), sehingga karyawan berhak menerima kompensasi atau tambahan upah sesuai ketentuan yang berlaku.

4. Pengobatan

Perusahaan menanggung biaya pengobatan bagi karyawan yang mengalami sakit atau cedera akibat pekerjaan sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku. Sementara itu, untuk biaya pengobatan karyawan yang sakit di luar akibat kecelakaan kerja, pemberiannya disesuaikan dengan kebijakan perusahaan.

5. Jaminan Ketenagakerjaan

Perusahaan menyediakan jaminan berupa asuransi jiwa dan asuransi kecelakaan kerja bagi karyawan yang dikelola melalui Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial (BPJS). Fasilitas ini diberikan untuk memberikan perlindungan serta rasa aman kepada karyawan selama menjalankan pekerjaan dan aktivitas operasional di lingkungan perusahaan.

b. Fasilitas Karyawan

Fasilitas karyawan terdiri dari:

1. Pakaian Kerja

Setiap tahun perusahaan memberikan dua pasang pakaian kerja kepada seluruh karyawan agar tercipta keseragaman di lingkungan kerja dan tidak menimbulkan perbedaan antar pegawai. Selain itu, perusahaan juga menyediakan masker serta perlengkapan alat pelindung diri (APD) lainnya sebagai penunjang keselamatan selama karyawan menjalankan pekerjaannya.

2. Mobilitas/Transportasi

Perusahaan menyediakan fasilitas transportasi bagi karyawan berupa bus antar-jemput dan kendaraan operasional untuk mendukung mobilitas menuju dan dari tempat kerja. Fasilitas ini ditujukan terutama bagi karyawan yang tidak menggunakan kendaraan pribadi, sehingga dapat membantu mengurangi biaya transportasi sehari-hari. Bus karyawan akan beroperasi pada beberapa rute yang melewati titik-titik tempat tinggal karyawan untuk mempermudah keberangkatan dan kepulangan kerja.

3. Makan dan Minum/Kantin

Perusahaan menyediakan fasilitas makan dan minum bagi karyawan selama jam kerja, yang diberikan satu kali dalam sehari pada waktu istirahat siang. Penyediaan konsumsi ini dikelola oleh pihak *catering* yang bekerja sama dengan perusahaan. Selain itu, kantin perusahaan juga menyediakan berbagai makanan dan minuman dengan harga yang terjangkau untuk memenuhi kebutuhan karyawan selama bekerja.

4. Sarana Ibadah

Sebagai bentuk dukungan terhadap kebutuhan rohani karyawan, perusahaan menyediakan tempat ibadah berupa masjid di area perusahaan. Fasilitas ibadah ini dilengkapi dengan sarana pendukung seperti air dan listrik sehingga karyawan dapat menjalankan ibadah dan kegiatan keagamaan dengan nyaman selama bekerja.

5. Alat Perlindungan

Perusahaan menyediakan berbagai perlengkapan keselamatan kerja seperti helm pengaman, sepatu *safety*, kacamata pelindung, masker, *ear plug*, serta sarung tangan tahan panas dan perlengkapan keamanan lainnya untuk menunjang keselamatan karyawan selama bekerja.

6. *Medical Centre*/Poliklinik

Perusahaan menyediakan fasilitas kesehatan berupa poliklinik yang dilengkapi dengan tenaga medis dan paramedis, seperti dokter dan perawat. Fasilitas ini disediakan untuk menjaga kondisi kesehatan karyawan agar tetap baik sehingga dapat mendukung kelancaran dan efisiensi kegiatan produksi di pabrik.

7. Penghargaan Masa Kerja

Perusahaan memberikan penghargaan berupa tanda mata kepada karyawan yang telah memiliki masa kerja selama 10 tahun berturut-turut sebagai bentuk apresiasi atas dedikasi dan kesetiaan mereka terhadap perusahaan. Penghargaan tersebut juga diharapkan dapat meningkatkan

semangat kerja dan memotivasi karyawan untuk terus memberikan kontribusi terbaik bagi perusahaan.

BAB V

UTILITAS

Dalam industri kimia, termasuk perancangan pabrik karboksimetil selulosa berbasis selulosa, sistem utilitas merupakan komponen pendukung yang berperan krusial dalam menjamin kelangsungan proses produksi. Utilitas mencakup berbagai unit yang menyediakan kebutuhan non-produk seperti energi, media perpindahan panas, dan fluida pendukung lainnya. Meskipun tidak menghasilkan produk secara langsung, keberadaannya sangat menentukan stabilitas operasi, efisiensi proses, dan keselamatan pabrik.

Pada pabrik karboksimetil selulosa, tahapan proses seperti alkalisasi, eterifikasi, pencampuran, pemanasan, pengeringan, hingga pengecilan ukuran memerlukan kondisi operasi yang terkontrol. Hal ini dipenuhi melalui penyediaan uap sebagai media pemanas, air pendingin untuk pengendalian suhu, serta listrik untuk pengoperasian peralatan dan sistem kontrol. Selain itu, udara tekan turut mendukung sistem instrumentasi dan otomasi agar proses berjalan stabil dan kontinu.

Dengan demikian, sistem utilitas harus dirancang secara terintegrasi dengan mempertimbangkan keandalan, efisiensi energi, dan aspek keselamatan. Penentuan kapasitas yang tepat serta integrasi antar unit menjadi kunci dalam mendukung operasi yang optimal dan berkelanjutan. Secara umum, unit utilitas dalam pabrik ini terdiri atas beberapa bagian utama dengan fungsi spesifik, yaitu:

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

Unit ini berfungsi untuk menyediakan dan mengolah air yang digunakan dalam berbagai kebutuhan pabrik, meliputi air proses, air pendingin, air umpan, serta air sanitasi untuk keperluan perkantoran dan lingkungan. Air pendingin secara khusus dimanfaatkan dalam sistem *cooling* untuk menjaga kestabilan suhu operasi peralatan dan proses.

b. Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generation System*)

Unit pembangkit *steam* berperan dalam menyediakan uap air sebagai media pemanas yang digunakan pada berbagai peralatan proses guna mencapai kondisi operasi yang diinginkan.

c. Unit Pengolahan Pendingin (*Cooling Water System*)

Unit pengolahan air pendingin berperan dalam menyediakan air sebagai media pendingin yang digunakan pada berbagai peralatan proses guna mencapai kondisi operasi yang diinginkan.

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

Unit ini berfungsi sebagai penyedia energi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan proses, sistem penerangan, serta kebutuhan lain di area pabrik. Sumber listrik utama umumnya berasal dari jaringan PLN, dengan generator sebagai sumber cadangan untuk menjamin kontinuitas pasokan listrik apabila terjadi gangguan.

e. Unit Penyedia Udara Instrumen (*Instrument Air System*)

Unit penyedia udara tekan berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan yang digunakan dalam sistem instrumentasi, khususnya pada

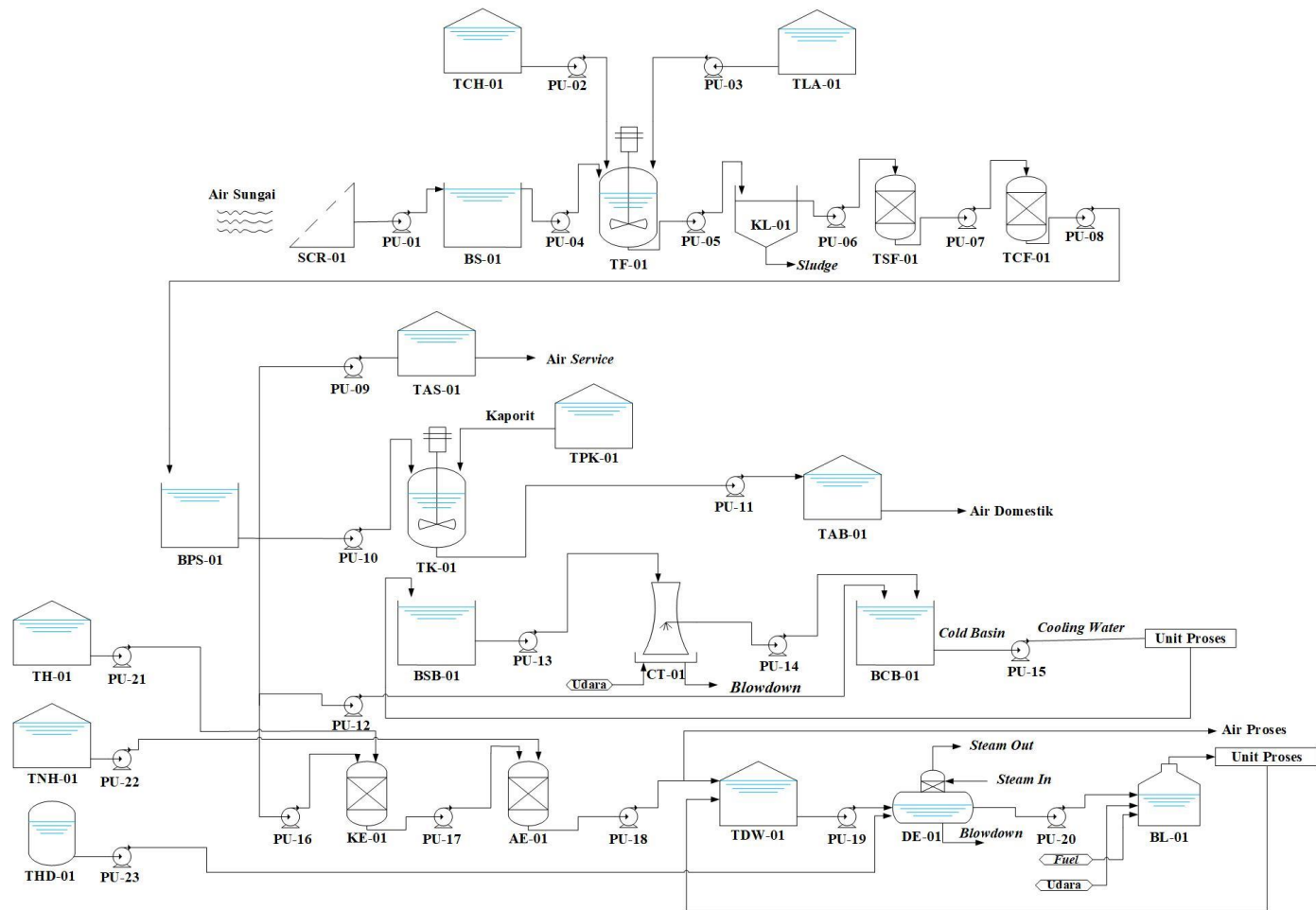
peralatan kontrol pneumatik. Peralatan utama dalam unit ini meliputi kompresor dan tangki penyimpanan udara.

f. Unit Penyediaan Bahan Bakar (*Fuel Supply System*)

Unit ini bertugas menyediakan bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi, terutama untuk pengoperasian generator sebagai pembangkit listrik cadangan.

g. Unit Pengolahan Limbah (*Wastewater Treatment Plant*)

Unit pengolahan limbah berfungsi untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari proses produksi sebelum dibuang ke lingkungan. Proses pengolahan ini mencakup metode fisika, kimia, dan biologi untuk menghilangkan kontaminan yang bersifat fisik, kimia, maupun biologis, sehingga memenuhi standar lingkungan yang berlaku.



Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas Unit Pengolahan Air

Keterangan:

<i>Screening</i>	(SCR-01)	Karbon <i>Filter</i>	(TCF-01)	<i>Kation Exchanger</i>	(KE-01)	<i>Cooling Tower</i>	(CT-01)
Bak Sedimentasi	(BS-01)	Bak Penampungan	(BPS-01)	<i>Anion Exchanger</i>	(AE-01)	<i>Boiler</i>	(BO-01)
Tangki CaOH	(TCH-01)	Tangki Air <i>Service</i>	(TAS-01)	Tangki Kaporit	(TPK-01)	Tangki N ₂ H ₄	(THD-01)
Tangki Tawas/Alum	(TLA-01)	Tangki Klorinasi	(TK-01)	<i>Hot Basin</i>	(BHB-01)	Tangki NaOH	(TNH-01)
Klarifier	(KL-01)	Tangki Air Bersih	(TAB-01)	<i>Cold Basin</i>	(BCB-01)	Tangki H ₂ SO ₄	(TH-01)
<i>Sand Filter</i>	(TSF-01)	<i>Demin Water Tank</i>	(TDW-01)	<i>Deaerator</i>	(DE-01)	Floakulator	(TF-01)

5.1 Unit Penyedia Dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Air merupakan salah satu komponen penting yang digunakan dalam kegiatan produksi, baik sebagai bahan baku maupun sebagai penunjang proses operasional pabrik. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan unit utilitas air yang berfungsi menyediakan pasokan air bersih bagi seluruh kegiatan di pabrik. Sumber air yang umum digunakan pada industri biasanya berasal dari sungai, danau, sumur, ataupun air laut.

Beberapa pertimbangan penggunaan air sungai sebagai sumber air untuk kebutuhan pabrik adalah sebagai berikut:

1. Lokasi sungai relatif dekat dengan area pabrik sehingga memudahkan proses distribusi air.
2. Ketersediaan air sungai cukup besar dan kontinuitas pasokannya lebih terjamin, sehingga risiko kekurangan air selama operasional pabrik dapat diminimalkan.
3. Debit air sungai umumnya lebih banyak dibandingkan sumber air sumur sehingga lebih mampu memenuhi kebutuhan air pabrik dalam jumlah besar.
4. Proses pengolahan air sungai relatif lebih mudah dan sederhana dibandingkan pengolahan sumber air lain, seperti air laut.
5. Biaya pengolahan air sungai cenderung lebih ekonomis sehingga dapat mengurangi biaya operasional utilitas pabrik.
6. Air sungai dapat diolah melalui proses fisika dan kimia agar kualitasnya sesuai untuk kebutuhan operasional di lingkungan pabrik.

Selanjutnya, air tersebut akan digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan operasional di lingkungan pabrik, antara lain sebagai berikut:

1. Kebutuhan Air Domestik

Air domestik merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari karyawan, seperti untuk air minum, toilet, perumahan, dan keperluan lainnya di lingkungan pabrik. Oleh karena itu, kualitas air domestik yang digunakan di lingkungan pabrik harus memenuhi beberapa ketentuan berikut:

- Persyaratan fisik
 - a) Suhu air lebih rendah atau mendekati suhu lingkungan sekitar.
 - b) Air harus terlihat jernih dan tidak berwarna.
 - c) Tidak memiliki rasa atau bersifat netral.
 - d) Tidak menimbulkan bau.
- Persyaratan kimiawi
 - a) Tidak mengandung zat organik maupun anorganik terlarut yang berbahaya.
 - b) Bebas dari bakteri patogen yang dapat memengaruhi kualitas air.
 - c) Tidak mengandung zat beracun atau bahan berbahaya lainnya.

Berdasarkan standar dari *World Health Organization* (WHO), kebutuhan air setiap orang berada pada kisaran 100–120 liter per hari. Menurut Sularso (2001), kebutuhan air untuk pekerja di lingkungan pabrik maupun perkantoran diperkirakan sebesar 100 liter per orang per hari. Selain itu, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat juga

menetapkan kebutuhan air domestik berkisar antara 60–150 liter per orang per hari, tergantung pada kondisi wilayah dan tingkat pelayanannya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, kebutuhan air domestik pada pra rancangan pabrik Karboksimetil Selulosa ini ditetapkan sebesar 100 liter per orang per hari.

Air yang digunakan untuk kebutuhan domestik pada pabrik ini meliputi beberapa keperluan sehari-hari karyawan, antara lain sebagai berikut:

- Air Kantor

Jumlah karyawan	= 119 orang
Kebutuhan air masing masing karyawan	= 100 L/hari
	= 11.900 L/hari

- Air Rumah Tangga

Kebutuhan air tiap penghuni	= 200 L/hari /orang
Air untuk kebutuhan rumah	= 3 org x 200 L/hari x 40 rumah
	= 24.000 L/hari

2. Kebutuhan Air Layanan (*Service Water*)

Kebutuhan air untuk fasilitas penunjang dan layanan umum di area pabrik diperkirakan mencapai 678 kg per jam. Air tersebut digunakan untuk mendukung berbagai kegiatan operasional pada fasilitas seperti bengkel, laboratorium, kantin, tempat ibadah, serta sistem pemadam kebakaran. Pemakaian air ini mencakup kebutuhan pencucian peralatan, kegiatan laboratorium, keperluan ibadah, penyediaan makanan dan minuman di

kantin, hingga persiapan sistem keamanan kebakaran agar tetap siap digunakan sewaktu-waktu.

3. Kebutuhan Air Proses

Kebutuhan air untuk proses produksi pada pabrik *carboxymethyl cellulose* ini terlampir pada tabel berikut:

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Proses

No.	Alat	Kode	Kebutuhan Air (kg/jam)
1.	<i>Mixer 01</i>	M-01	67,0707
2.	<i>Mixer 02</i>	M-02	204,1672
3.	<i>Mixer 03</i>	M-03	16,0338
4.	<i>Rotary Drum Vacuum Filter 01</i>	RDVF-01	100,2446
Total			387,5162

Untuk menjaga keandalan operasional serta mengantisipasi kemungkinan peningkatan kapasitas produksi maupun gangguan pasokan air, perancangan dilakukan dengan penambahan kapasitas sebesar 20% (*overdesign*). Dengan pertimbangan tersebut, kebutuhan air proses yang dirancang menjadi 465,0194 kg/jam. Penerapan *overdesign* ini bertujuan agar sistem tetap fleksibel dan mampu memenuhi kebutuhan air proses ketika terjadi perubahan beban operasi selama produksi berlangsung.

4. Kebutuhan Air Pendingin

Air pendingin digunakan dalam sistem pendingin (*cooling system*) untuk menjaga suhu operasi peralatan proses. Jumlah air pendingin yang dibutuhkan sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin

No.	Alat	Kode	Kebutuhan Air (kg/jam)
1.	Mixer 01	M-01	1.826,8348
2.	Mixer 02	M-02	498,3205
3.	Cooler 01	C-01	6.754,8364
4.	Reaktor Alkalisasi	R-01	8.301,6973
5.	Reaktor Eterifikasi	R-02	7.728,4828
6.	Cooling Screw Conveyor 01	CSC-01	435,6553
Total			25.638,7662

Untuk mengantisipasi beban puncak dan kondisi tidak terduga, perancangan sistem pendingin dilakukan dengan *overdesign* sebesar 20%, sehingga total kebutuhan air pendingin menjadi 30.766,5195 kg/jam. Selama proses berlangsung, air pendingin mengalami blowdown pada unit *cooling tower*, sehingga perlu ditambahkan air pengganti (*make-up water*). Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air *make-up* tersebut sebesar 163, 4471 kg/jam

5. Kebutuhan Air Pemanas (*Steam*)

Steam pada pabrik digunakan sebagai media pemanas utama dalam menunjang berbagai proses produksi. Steam dihasilkan dari air umpan *boiler (boiler feed water)* yang telah melalui tahapan pengolahan kimia untuk memenuhi spesifikasi operasi *boiler* serta mencegah gangguan selama proses pembangkitan *steam*. Pengolahan air umpan *boiler* perlu dilakukan secara optimal karena kualitas air sangat memengaruhi efisiensi perpindahan panas, umur peralatan, dan kestabilan operasi sistem *boiler*. Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam pengolahan air umpan *boiler* meliputi:

a) Pencegahan Korosi

Air umpan *boiler* harus terbebas dari zat-zat yang dapat memicu terjadinya korosi pada sistem perpipaan maupun *boiler*. Korosi umumnya disebabkan oleh keberadaan senyawa asam dan gas-gas terlarut, seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), yang dapat bereaksi dengan permukaan logam sehingga menyebabkan penurunan ketahanan material dan kerusakan peralatan.

b) Pencegahan Pembentukan Kerak (*Scale Formation*)

Pembentukan kerak terjadi akibat adanya kandungan kesadahan dalam air, terutama garam karbonat dan silikat, yang mengendap pada suhu operasi tinggi. Endapan kerak dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas, meningkatkan konsumsi energi, serta berpotensi menyebabkan *overheating* pada permukaan pemanas *boiler*.

c) Pencegahan *Foaming* dan *Priming*

Foaming merupakan pembentukan gelembung atau busa pada permukaan air boiler yang dapat terbawa bersama aliran steam. Kondisi ini umumnya dipicu oleh tingginya kandungan zat organik maupun anorganik terlarut serta alkalinitas yang berlebihan pada air boiler. *Foaming* dan *priming* dapat menurunkan kualitas steam yang dihasilkan dan menyebabkan terbawanya impuritas ke dalam sistem proses sehingga mengganggu kinerja peralatan hilir.

Kebutuhan steam pada pabrik karboksimetil selulosa adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 3 Kebutuhan Air *Steam*

No.	Alat	Kode	Kebutuhan Air (kg/jam)
1.	Heater 01	HT-01	213,0384
2.	Heater 02	HT-02	7,7428
3.	Mixer 03	M-03	630,3597
Total			851,1408

Perancangan steam ditentukan *over design* sebesar 20% sehingga kebutuhan steam menjadi 1.021,3689 kg/jam. Pada saat proses berlangsung, steam mengalami *blowdown* pada unit reboiler sebanyak 15% dan terdapat *steam trap* sebesar 5% sehingga diperlukan adanya *make up water*. Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh kebutuhan *make up water* setelah *over design* 20% untuk steam yaitu sebesar 204,2738 kg/jam.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Pemanfaatan air sungai sebagai sumber air utama dilakukan melalui sistem pengambilan dan pengolahan air yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan air proses maupun utilitas di dalam pabrik. Sebelum didistribusikan ke berbagai unit pengguna, air sungai terlebih dahulu mengalami beberapa tahapan pengolahan guna menyesuaikan kualitas air dengan standar operasional yang dibutuhkan. Proses pengolahan dilakukan secara bertahap melalui metode fisik, kimia, hingga pemurnian lanjutan agar air yang dihasilkan aman dan layak digunakan dalam kegiatan operasional pabrik. Tahapan pengolahan air tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a. *Screening* (Penyaringan)

Tahap *screening* merupakan proses awal dalam pengolahan air sungai yang bertujuan untuk memisahkan material berukuran besar seperti sampah, daun,

ranting, lumpur kasar, dan benda terapung lainnya yang terbawa aliran sungai. Proses penyaringan dilakukan menggunakan *bar screen* dengan jarak antar bilah tertentu sehingga partikel berukuran besar dapat tertahan, sedangkan air dan partikel yang lebih halus tetap dapat mengalir menuju tahap berikutnya. Setelah proses penyaringan selesai dilakukan, air sungai selanjutnya dipompa menuju bak sedimentasi untuk proses pengolahan lanjutan.

b. Sedimentasi

Air sungai yang telah melewati proses penyaringan pada *unit screening* (SC-01) selanjutnya dialirkan menuju bak sedimentasi (BS-01) untuk menjalani proses pengendapan awal. Pada unit ini, partikel-partikel padat yang masih terbawa setelah tahap *screening*, seperti pasir halus, lumpur, dan material mineral lainnya, dipisahkan melalui mekanisme pengendapan secara gravitasi. Proses sedimentasi bertujuan untuk menurunkan kandungan padatan tersuspensi dalam air baku sehingga dapat mengurangi beban pengolahan pada tahap berikutnya serta meningkatkan efisiensi proses kimia lanjutan. Air hasil sedimentasi kemudian dialirkan menggunakan pompa menuju unit koagulasi dan flokulasi untuk proses pengolahan selanjutnya.

c. Koagulasi, Flokuasi, dan Pengendapan

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel halus yang tidak dapat diendapkan secara gravitasi biasa, dengan cara menetralkan muatan koloid sehingga partikel-partikel tersebut dapat saling berikatan membentuk flok-flok berukuran lebih besar yang mudah mengendap. Pada proses koagulasi, ditambahkan bahan kimia koagulan berupa aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ke dalam

air. Penambahan $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$ menghasilkan ion Al^{3+} yang bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) dalam air membentuk endapan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) yang berperan sebagai jembatan pengikat antar partikel tersuspensi dan zat koloid. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:



Proses ini menyebabkan pH air menurun akibat terbentuknya asam sulfat (H_2SO_4). Oleh karena itu, untuk menjaga pH air tetap berada pada rentang optimum proses koagulasi (sekitar pH 6,5–7,5), dilakukan penambahan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Kalsium hidroksida berfungsi sebagai bahan penyesuai pH (*alkali agent*) untuk menetralkan keasaman yang dihasilkan serta membantu proses pengendapan kalsium karbonat jika kandungan ion kalsium (Ca^{2+}) dan bikarbonat dalam air cukup tinggi. Reaksi yang terjadi antara $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ion kalsium, dan bikarbonat sebagai berikut:



Selanjutnya, air masuk ke dalam unit flokulasi di mana dilakukan pengadukan lambat untuk memperbesar flok-flok yang terbentuk agar dapat dengan mudah mengendap di unit pengendapan/*clarifier*. Air bersih di bagian atas selanjutnya diteruskan ke proses filtrasi, sementara lumpur hasil pengendapan dibuang ke sistem pengolahan lumpur.

d. Clarifier

Clarifier berfungsi sebagai unit pengendapan untuk menjernihkan air baku, seperti air sungai maupun air tanah, dengan cara memisahkan padatan tersuspensi dari aliran air. Proses klarifikasi berlangsung melalui mekanisme sedimentasi

sehingga partikel-partikel padat dapat mengendap secara gravitasi. Untuk meningkatkan efisiensi pengendapan, umumnya ditambahkan bahan kimia koagulan dan flokulan guna membantu proses koagulasi dan flokulasi, sehingga partikel-partikel halus dapat bergabung membentuk flok berukuran lebih besar dan lebih mudah diendapkan.

e. Sand Filter

Air jernih yang keluar dari bagian atas klarifier (KL-01) selanjutnya dialirkan menuju unit *sand filter* (TSF-01) untuk menjalani proses filtrasi lanjutan. Proses ini bertujuan untuk menyisihkan partikel-partikel halus yang masih tersuspensi dan belum sepenuhnya terpisahkan pada tahap klarifikasi sebelumnya, seperti lumpur mikro, sisa flok, serta padatan berukuran kecil lainnya. Mekanisme penyaringan berlangsung ketika aliran air melewati lapisan media filter sehingga partikel-partikel padat tertahan di dalam media, sementara air bersih dapat mengalir keluar dari unit filtrasi. Tahap ini memiliki peranan penting dalam meningkatkan kualitas kejernihan air serta menurunkan kandungan padatan tersuspensi sebelum air digunakan pada proses pengolahan berikutnya.

Media penyaring pada *sand filter* tersusun atas beberapa lapisan dengan ukuran partikel yang berbeda untuk meningkatkan efektivitas proses filtrasi. Lapisan *graded gravel* sebesar 20% digunakan sebagai media penyangga dan pendukung bagian dasar filter agar distribusi aliran tetap merata dan media pasir tidak terbawa aliran air. Selanjutnya, *coarse sand* sebesar 70% berfungsi sebagai media utama penyaringan partikel tersuspensi, sedangkan *fine sand* sebesar 10% digunakan untuk menangkap partikel-partikel yang berukuran lebih halus.

Kombinasi ketiga lapisan tersebut memungkinkan proses penyaringan berlangsung secara optimal sehingga dihasilkan air dengan tingkat kejernihan yang lebih baik. Air hasil filtrasi kemudian dialirkan menuju unit karbon filter untuk proses penghilangan senyawa organik, warna, bau, serta kontaminan lain yang masih terkandung dalam air.

f. Carbon Filter

Carbon Filter merupakan unit filtrasi yang menggunakan karbon aktif sebagai media utama untuk menyerap kontaminan dan senyawa pencemar dalam air. Karbon aktif memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang tinggi sehingga efektif dalam mengadsorpsi senyawa organik, warna, bau, klorin, serta zat-zat lain yang dapat menurunkan kualitas air. Selain itu, karbon aktif juga mampu membantu mengurangi kandungan partikel halus dan beberapa mikroorganisme tertentu, sehingga kualitas air hasil pengolahan menjadi lebih baik.

Prinsip kerja *carbon filter* berlangsung melalui proses adsorpsi, yaitu ketika air dialirkan melewati media karbon aktif, senyawa pencemar akan tertahan dan menempel pada permukaan pori-pori karbon. Unit ini umumnya ditempatkan setelah tahap filtrasi awal, seperti *sand filter*, untuk menyempurnakan proses pemurnian air. Dengan adanya *carbon filter*, air hasil pengolahan memiliki tingkat kejernihan yang lebih tinggi serta bebas dari bau dan kandungan organik yang tidak diinginkan sebelum digunakan lebih lanjut pada proses utilitas maupun produksi.

g. Bak Penampungan

Setelah melalui tahap filtrasi, air tersebut sudah memenuhi kriteria sebagai air bersih dan ditampung dalam bak penampungan sementara sebelum proses

distribusi. Bak penampungan ini berperan sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum air dialirkan ke konsumen akhir atau sistem penyaluran yang sesuai.

Berikut daftar distribusi air bersih:

- a. Air Domestik dan *Service*
- b. Air Pendingin
- c. Air Umpan *Boiler* (*Boiler Feed Water*)
- d. Air Sanitasi

h. Klorinasi

Proses klorinasi merupakan tahap desinfeksi air dengan menambahkan senyawa klorin, seperti gas klorin (Cl_2) atau hipoklorit, ke dalam aliran air hasil pengolahan untuk menginaktivasi bakteri, mikroorganisme patogen, dan kontaminan biologis lainnya. Tahap ini berperan penting dalam menjaga kualitas air agar memenuhi standar keamanan untuk kebutuhan domestik maupun industri. Proses klorinasi umumnya dilakukan setelah tahapan filtrasi selesai sehingga air yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih higienis, aman, dan layak digunakan dalam berbagai aktivitas operasional.

i. *Cooling Tower*

Air hasil filtrasi yang telah memenuhi spesifikasi pengolahan ditampung di dalam bak penampung air bersih, kemudian sebagian alirannya digunakan sebagai media pendingin pada sistem utilitas pabrik. Air pendingin tersebut dipompa menuju peralatan proses yang memerlukan pengendalian temperatur, seperti *mixer*, reaktor, dan *cooling screw conveyor (CSC)*, untuk menyerap panas yang dihasilkan selama proses berlangsung sehingga kondisi operasi tetap stabil dan sesuai dengan

kebutuhan proses. Setelah menyerap panas, temperatur air pendingin meningkat dan aliran tersebut dialirkan menuju *hot basin* pada *cooling tower*. Di dalam *cooling tower*, air mengalami proses pendinginan melalui kontak langsung dengan udara ambien secara evaporatif sehingga panas dapat dilepaskan ke lingkungan dan temperatur air kembali menurun. Air yang telah didinginkan kemudian dikumpulkan pada *cold basin* dan disirkulasikan kembali ke peralatan proses untuk digunakan ulang sebagai media pendingin. Sistem sirkulasi tertutup ini memungkinkan penggunaan air pendingin berlangsung secara lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan dalam menunjang operasional pabrik.

j. 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 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 pelunakan air. Perbedaan utama nya adalah jenis resin yang digunakan. Jenis resin yang digunakan adalah *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.

k. Deaerator

Air hasil proses demineralisasi yang akan digunakan sebagai umpan *boiler* selanjutnya dialirkan menuju unit *deaerator* untuk menjalani proses deaerasi. Tahap ini bertujuan untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O_2), yang berpotensi menyebabkan korosi pada sistem *boiler* dan perpipaan. Keberadaan gas terlarut dapat menurunkan umur operasi peralatan serta meningkatkan risiko kerusakan struktural akibat korosi pada permukaan logam. Untuk meningkatkan efektivitas penghilangan oksigen terlarut, ditambahkan senyawa hidrazin (N_2H_4) sebagai *oxygen scavenger* yang bereaksi dengan sisa oksigen sebelum air masuk ke *boiler*. Air keluaran *deaerator* kemudian digunakan sebagai *boiler feed water* dan dialirkan ke *boiler* untuk dipanaskan hingga menghasilkan steam sebagai media pemanas proses. Selama operasi *boiler*, dilakukan sistem *blowdown* secara berkala untuk mengeluarkan akumulasi padatan

tersuspensi dan zat terlarut yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas. Kehilangan air akibat proses *blowdown* selanjutnya digantikan dengan *make-up water* guna menjaga kestabilan operasi dan kebutuhan *steam* dalam proses produksi.

5.2 Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generation System*)

Unit pembangkit uap/*steam* dalam sistem ini dirancang untuk menjamin ketersediaan pasokan uap panas (*steam*) yang stabil dan kontinu guna mendukung rangkaian proses produksi karboksimetil selulosa dengan menyediakan satu buah ketel uap (*boiler*) yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dan dilengkapi dengan perangkat *economizer*, katup pengaman (*safety valve*), serta berbagai mekanisme proteksi otomatis lainnya guna menunjang efisiensi dan keamanan operasionalnya. Berikut spesifikasi *boiler*:

Nama Alat	: <i>Boiler</i> Air (BO-01)
Kapasitas	: 3.446.049,5129 kJ/Jam
Jenis	: <i>Water Tube Boiler</i>
Jumlah	: 1
<i>Steam</i>	: <i>Saturated steam</i> dengan suhu 150°C (423°K)

Tabel 5. 4 Kebutuhan *Boiler* (BO-01)

Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
HE-01	213,0384
HE-02	7,7428
M-03	630,3597
Total	851,1408

Over design sebesar 20%, sehingga menjadi 1.021,3689 kg/jam. Maka, diperoleh kapasitas *boiler* 1 (BO-01) yang dibutuhkan adalah 3.446.049,5129 kJ/Jam.

Proses pembangkitan uap diawali dengan pengkondisian kualitas air yang berasal dari *Water Treatment Plant* (WTP) sebelum dialirkan ke dalam sistem *boiler*. Di dalam *boiler feed water tank*, dilakukan penambahan bahan kimia khusus guna meminimalisir kandungan mineral pengganggu seperti silika, kalsium (Ca), dan magnesium (Mg), serta mereduksi kadar oksigen terlarut (O_2). Selain pengendalian mineral, pengaturan derajat keasaman (pH) dijaga secara ketat pada rentang 10,5 hingga 11,5. Batasan pH ini sangat krusial untuk mencegah terjadinya laju korosi yang tinggi pada material alat.

Tahap selanjutnya melibatkan peningkatan efisiensi termal melalui penggunaan *economizer*. Sebelum masuk ke unit utama *boiler*, air umpan dilewatkan ke alat penukar panas ini untuk menyerap energi panas dari gas sisa pembakaran *fuel*. Melalui mekanisme ini, temperatur air ditingkatkan hingga mencapai $150^{\circ}C$ sebelum akhirnya masuk ke dalam *boiler*.

Di dalam *boiler*, proses pemanasan terjadi secara intensif di mana api yang dihasilkan oleh *burner* memanaskan dinding lorong api dan rangkaian pipa. Energi panas tersebut diserap oleh air hingga mencapai titik didih. Gas hasil pembakaran tidak langsung dibuang, melainkan dialirkan terlebih dahulu menuju *economizer* untuk memanaskan air umpan sebelum dilepaskan melalui cerobong asap (*stack*). Uap air yang dihasilkan kemudian diakumulasikan hingga mencapai tekanan operasional tertentu (5 bar) sebelum disalurkan menuju *steam header* untuk didistribusikan ke berbagai unit proses produksi.

5.3 Unit Pengolahan Pendingin (*Cooling Water System*)

Operasi pendinginan pada pabrik ini mengandalkan sistem sirkulasi tertutup yang mengintegrasikan unit *cooling tower*, *hot basin*, dan *cold basin*. Air yang telah digunakan dalam proses produksi akan terkumpul di *hot basin* sebelum dialirkan menuju *cooling tower* (CT-01). Di unit ini, terjadi penurunan suhu air dari 40°C menjadi 30°C melalui mekanisme pendinginan evaporatif. Proses tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi udara ambien di wilayah Serang, yang rata-rata memiliki suhu 30°C dengan kelembapan relatif sekitar 70%.

Unit *cooling tower* yang dioperasikan merupakan tipe *induced draft* satu *cell* dengan spesifikasi teknis mencakup luas penampang sebesar 0,0357 m² dan tinggi total unit mencapai 3,3171 m (termasuk ruang untuk *inlet* udara dan distributor). Setelah melalui proses pendinginan, air akan ditampung di dalam *cold basin* untuk kemudian disirkulasikan kembali ke unit-unit proses. Baik *hot basin* maupun *cold basin* dirancang dengan kapasitas volume yang sama, yakni 0,7845 m³, dengan dimensi struktural panjang dan lebar masing-masing 1,0935 m serta tinggi 0,5468 m.

Selama siklus pendinginan berlangsung, terjadi pengurangan volume air akibat beberapa faktor teknis. Kehilangan air terbesar disebabkan oleh evaporasi, yaitu sebesar 2,5% dari total aliran atau setara dengan 4,0908 kg/jam. Selain itu, terdapat kehilangan air akibat *blowdown* sebesar 0,8182 kg/jam dan *windage* sebesar 0,3269 kg/jam. Untuk menjaga keseimbangan volume dalam sistem sirkulasi, diperlukan pasokan air tambahan (*make-up water*) dengan total kebutuhan mencapai 5,2358 kg/jam.

5.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, pabrik karboksimetil selulosa ini mengandalkan pasokan utama dari PLN. Namun, guna mengantisipasi adanya kegagalan sistem atau pemadaman dari jaringan pusat, pabrik juga mengoperasikan unit generator internal sebagai sumber daya cadangan (*emergency power*). Langkah ini diambil untuk menjamin keberlangsungan operasional dan memastikan seluruh instrumen proses produksi tetap berjalan secara kontinu tanpa terhambat oleh fluktuasi pasokan listrik eksternal.

Secara teknis, generator cadangan ini bekerja dengan memanfaatkan bahan bakar solar sebagai sumber energi panas. Energi tersebut dikonversi melalui putaran poros engkol untuk menghasilkan tenaga listrik yang stabil. Penting adanya sistem integrasi antara PLN dan unit generator ini, agar reliabilitas energi di dalam pabrik dapat terjaga dengan baik.

Berikut merupakan rincian untuk kebutuhan listrik pabrik karboksimetil selulosa diantaranya sebagai berikut:

a. Kebutuhan Listrik *Power Plant*

- Kebutuhan Untuk Alat Proses

Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No.	Nama Alat	Kode Alat	Hp	Watt	kW
1.	Mixer 1	M-01	0,75	559,2750	0,5593
2.	Mixer 2	M-02	0,25	186,4250	0,1864
3.	Mixer 3	M-03	0,13	93,2125	0,0932
4.	Reaktor Alkalisasi	R-01	5,00	3.728,5000	3,7285
5.	Reaktor Eterifikasi	R-02	3,00	2.237,1000	2,2371
6.	Rotary Drum Vacuum Filter	RDVF-01	25,00	18.642,5000	18,6425

No.	Nama Alat	Kode Alat	Hp	Watt	kW
7.	<i>Rotary Dryer</i>	RD-01	40,00	29.828,0000	29,8280
8.	<i>Ball Mill</i>	BM-01	24,00	17.896,8000	17,8968
9.	<i>Vibrating Screener</i>	VS-01	4,00	2.982,8000	2,9828
10.	Pompa 1	P-01	0,08	62,1417	0,0621
11.	Pompa 2	P-02	0,05	37,2850	0,0373
12.	Pompa 3	P-03	0,13	93,2125	0,0932
13.	Pompa 4	P-04	0,05	37,2850	0,0373
14.	Pompa 5	P-05	0,75	559,2750	0,5593
15.	Pompa 6	P-06	0,50	372,8500	0,3729
16.	Pompa 7	P-07	0,75	559,2750	0,5593
17.	<i>Screw Conveyor 1</i>	SC-01	0,43	320,6510	0,3207
18.	<i>Screw Conveyor 2</i>	SC-02	0,43	320,6510	0,3207
19.	<i>Screw Conveyor 3</i>	SC-03	0,43	320,6510	0,3207
20.	<i>Screw Conveyor 4</i>	SC-04	0,43	320,6510	0,3207
21.	<i>Screw Conveyor 5</i>	SC-05	0,43	320,6510	0,3207
22.	<i>Cooling Screw Conveyor 7</i>	CSC-01	0,43	320,6510	0,3207
23.	<i>Bucket Elevator</i>	BE-01	0,05	37,2850	0,0373
24.	<i>Bucket Elevator</i>	BE-02	0,05	37,2850	0,0373
25.	<i>Blower</i>	BL-01	7,50	5.592,7500	5,5928
Total			114.61	85.467,1627	85,4672

- Kebutuhan Untuk Alat Utilitas

Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

No.	Nama Alat	Kode Alat	Hp	Watt	kW
1.	Tangki Flokuator	TF-01	0,75	559,2750	0,5593
2.	Klarifier	KL-01	0,75	559,2750	0,5593
3.	<i>Cooling Tower</i>	CT-01	0,50	372,8500	0,3729
4.	Tangki Klorinasi	TK-01	1,00	745,7000	0,7457
5.	Kompresor	C-01	7,50	5.592,7500	5,5928
6.	Turbin	TB-01	0,05	37,2850	0,0373
7.	Pompa 1	PU-01	0,25	186,4250	0,1864
8.	Pompa 2	PU-02	0,05	37,2850	0,0373
9.	Pompa 3	PU-03	0,05	37,2850	0,0373
10.	Pompa 4	PU-04	1,50	1118,5500	1,1186

No.	Nama Alat	Kode Alat	Hp	Watt	kW
11.	Pompa 5	PU-05	1,50	1118,5500	1,1186
12.	Pompa 6	PU-06	1,50	1118,5500	1,1186
13.	Pompa 7	PU-07	0,17	124,2833	0,1243
14.	Pompa 8	PU-08	0,50	372,8500	0,3729
15.	Pompa 9	PU-09	0,05	37,2850	0,0373
16.	Pompa 10	PU-10	0,08	62,1417	0,0621
17.	Pompa 11	PU-11	0,05	37,2850	0,0373
18.	Pompa 12	PU-12	0,05	37,2850	0,0373
19.	Pompa 13	PU-13	0,05	37,2850	0,0373
20.	Pompa 14	PU-14	0,05	37,2850	0,0373
21.	Pompa 15	PU-15	0,05	37,2850	0,0373
22.	Pompa 16	PU-16	0,05	37,2850	0,0373
23.	Pompa 17	PU-17	0,05	37,2850	0,0373
24.	Pompa 18	PU-18	0,05	37,2850	0,0373
25.	Pompa 19	PU-19	0,05	37,2850	0,0373
26.	Pompa 20	PU-20	0,05	37,2850	0,0373
27.	Pompa 21	PU-21	0,05	37,2850	0,0373
28.	Pompa 22	PU-22	1,50	1118,5500	1,1186
29.	Pompa 23	PU-23	0,05	37,2850	0,0373
Total			18,30	13.646,3100	13,6463

Sehingga total kebutuhan listrik untuk proses dan utilitas = 99,1135 kW
kemudian di *over desain* 10% = 109,0248 kW.

b. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

Total kebutuhan energi untuk alat kontrol di pabrik ini adalah 27,2562 kW,
di mana nilai tersebut setara dengan 25% dari total keseluruhan daya listrik yang
diserap oleh motor-motor penggerak.

c. Kebutuhan Listrik Penerangan

Alokasi daya untuk sistem penerangan di area pabrik diproyeksikan sebesar
15% dari total keseluruhan daya listrik motor. Dari asumsi tersebut, diperoleh total
kebutuhan daya untuk penerangan yakni sebesar 16,3537 kW.

d. Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor

Untuk mendukung aktivitas perkantoran seperti pengoperasian AC, komputer, serta perangkat penunjang lainnya, kebutuhan daya listrik diperkirakan sebesar 15% dari total keseluruhan daya listrik motor. Berdasarkan asumsi ini, daya yang dialokasikan untuk fasilitas kantor adalah 16,3537 kW.

e. Kebutuhan Listrik Bengkel, Laboratorium, Dan Lain-Lain

Kebutuhan daya listrik guna menunjang aktivitas di area bengkel dan laboratorium diprediksi memerlukan 15% dari total keseluruhan daya listrik motor. Merujuk pada estimasi tersebut, maka total energi listrik yang dialokasikan untuk unit ini adalah sebesar 16,3537 kW.

f. Kebutuhan Listrik Perumahan

Fasilitas perumahan karyawan yang berjumlah 40 unit direncanakan mendapatkan pasokan listrik dari pabrik. Dengan konsumsi rata-rata sebesar 1.000 Watt untuk setiap rumah, maka total kebutuhan energi listrik yang harus dipenuhi adalah 40 kW.

Rincian menyeluruh mengenai akumulasi kebutuhan daya listrik di seluruh unit pabrik disajikan dalam Tabel 5.7 berikut ini:

Tabel 5. 7 Kebutuhan Listrik Seluruh Unit Pabrik

No.	Keperluan Listrik	Kebutuhan Listrik (kW)
1.	Listrik <i>Power Plant</i> (Alat Proses Dan Utilitas)	109,0248
2.	Listrik Alat Kontrol	27,2562
3.	Listrik Penerangan	16,3537
4.	Listrik Peralatan Kantor	16,3537
5.	Listrik Bengkel, Laboratorium, Dan Lain-Lain	16,3537
6.	Listrik Perumahan	40,0000
Total Kebutuhan Listrik		225.3422

Sebagaimana telah diuraikan, penyediaan generator dalam pabrik ini merupakan langkah krusial untuk menjamin kontinuitas operasional saat terjadi pemutusan aliran listrik dari PLN secara tiba-tiba. Guna memastikan performa generator tetap optimal dalam kondisi darurat, diperlukan perhitungan estimasi konsumsi bahan bakar yang akurat. Unit yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 345 kW dengan efisiensi kerja mencapai 80%. Dengan spesifikasi tersebut, generator ini mengonsumsi bahan bakar jenis *Industrial Diesel Oil* (IDO) sebanyak 91,9767 kg/jam. Data konsumsi ini menjadi parameter utama dalam merencanakan manajemen stok bahan bakar cadangan, sehingga ketersediaan daya tetap terjaga meskipun pasokan utama mengalami kendala.

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

Udara tekan di pabrik ini berfungsi sebagai tenaga penggerak bagi instrumen kontrol yang beroperasi secara pneumatik. Untuk memastikan seluruh sistem berjalan optimal, tekanan udara dijaga pada angka 7,2 bar (dengan rentang operasional 5,5 – 7,2 bar). Unit ini dirancang untuk menyuplai kebutuhan udara bagi sekitar 31 alat kontrol dengan total laju alir sebesar 63,2102 m³/jam.

Proses penyediaannya dimulai dengan mengambil udara lingkungan yang kemudian ditekan menggunakan kompresor. Kompresor ini telah dilengkapi dengan filter udara (penyaring) untuk menjamin kualitas udara yang masuk bebas dari partikel pengotor. Setelah dikompresi, udara dialirkan melalui *blower* menuju sebuah bejana pengering atau tangki udara yang berisi *silica gel*. Tahap ini sangat krusial guna menghilangkan kelembapan dan memastikan udara dalam keadaan

kering sebelum didistribusikan. Udara kering bertekanan tersebut kemudian disalurkan menuju unit-unit kontrol serta peralatan proses lainnya untuk memastikan kinerja sistem pneumatik tetap presisi dan bebas dari risiko gangguan akibat uap air.

5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar (*Fuel Supply System*)

Unit penyedia bahan bakar berfungsi untuk menjamin ketersediaan bahan bakar bagi peralatan yang memerlukannya dalam operasional pabrik karboksimetil selulosa. Dalam sistem ini, bahan bakar digunakan oleh dua unit utama, yaitu boiler sebagai penghasil steam, dan generator sebagai sumber listrik cadangan saat suplai utama dari PLN terganggu. Jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem utilitas pabrik adalah *industrial diesel oil (IDO)* dengan kebutuhan konsumsi sebesar 8,5068 m³ per hari. Pemilihan IDO sebagai bahan bakar didasarkan pada pertimbangan efisiensi energi dan kemudahan operasional dibandingkan penggunaan batu bara. *Industrial diesel oil* memiliki nilai kalor (*heating value*) yang lebih tinggi sehingga mampu menghasilkan energi panas yang lebih besar pada jumlah konsumsi bahan bakar yang lebih rendah. Sebaliknya, penggunaan batu bara memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih besar untuk menghasilkan energi yang setara. Selain itu, meskipun harga batu bara relatif lebih rendah per satuan massa, penggunaannya memerlukan infrastruktur tambahan untuk penanganan material padat, sistem pengendalian emisi, serta pengelolaan abu dan limbah pembakaran, sehingga berpotensi meningkatkan biaya operasional secara keseluruhan.

5.7 Unit Pengolahan Limbah (*Wastewater Treatment Plant*)

Limbah cair pada pabrik karboksimetil selulosa (CMC) terutama berasal dari filtrat keluaran *Rotary Drum Vacuum Filter* (RDVF) yang mengandung sisa bahan kimia proses, seperti natrium monokloroasetat, natrium hidroksida, pelarut aseton, dan air. Limbah cair tersebut dialirkan menuju unit pengolahan limbah untuk menurunkan potensi pencemaran sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan dilakukan dengan tujuan mengendalikan karakteristik limbah, seperti pH dan kandungan senyawa kimia yang masih terbawa dari proses produksi, sehingga efluen yang dihasilkan memenuhi ketentuan lingkungan yang berlaku.

Salah satu jenis limbah lain yang dihasilkan adalah air buangan sanitasi yang berasal dari fasilitas umum, seperti toilet, kamar mandi, dan area perkantoran. Limbah ini umumnya mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, serta mikroorganisme dan bakteri yang berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang secara langsung. Oleh karena itu, air limbah sanitasi diolah menggunakan sistem lumpur aktif (*activated sludge*) untuk menurunkan kandungan bahan organik melalui aktivitas mikroorganisme pengurai. Setelah proses biologis selesai dilakukan, limbah kemudian diberikan bahan desinfektan berupa kalsium hipoklorit (*calcium hypochlorite*) untuk membunuh mikroorganisme patogen sehingga air hasil olahan menjadi lebih aman sebelum dibuang ke lingkungan.

Selain limbah sanitasi, pabrik juga menghasilkan limbah cair laboratorium yang berasal dari kegiatan analisis dan pengujian bahan baku maupun produk. Limbah laboratorium umumnya mengandung berbagai zat kimia yang memerlukan penanganan khusus sebelum dibuang. Oleh karena itu, pengolahan limbah

laboratorium dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu *physical treatment*, *chemical treatment*, dan *biological treatment*.

5.8 Spesifikasi Alat Utilitas

5.8.1 Spesifikasi Alat Unit Pengolahan Air Bersih

Tabel 5. 8 Spesifikasi *Screening* Utilitas (SCR-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	SCR-01
Fungsi	Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar misalnya daun, ranting, dan sampah-sampah lainnya.
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	Aluminium
Spesifikasi Khusus	
Jumlah Air (kg/jam)	3.292,3557
Kecepatan Air (m/s)	0,6
Luas Penampang (m ²)	0,0015
Jumlah <i>Screen</i> (buah)	1

Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak Pengolahan Air

Jenis Alat	Bak Pengendapan Awal/Sedimentasi	Bak Penampungan Air Sementara
Spesifikasi Umum		
Kode	BS-01	BPS-01
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai	Menampung sementara <i>raw water</i> setelah disaring di <i>carbon filter</i>
Jenis	Bak persegi	Bak persegi
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	Beton bertulang	Beton bertulang
Spesifikasi Khusus		
Kapasitas (m ³ /jam)	3,2952	3,2924
Panjang (m)	4,2924	1,9918
Lebar (m)	4,2924	1,9918
Tinggi (m)	2,1462	0,9959

Tabel 5. 10 Spesifikasi Tangki Pengolahan Air

Jenis Alat	Tangki Larutan CaOH	Tangki Larutan Alum/Tawas
Spesifikasi Umum		
Kode	TCH-01	TLA-01
Fungsi	Menyimpan larutan CaOH untuk 1 minggu operasi	Menyimpan larutan alum 5 % untuk 1 minggu operasi
Jenis	Tangki silinder	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus		
Kapasitas (kg)	1004,4549	0,8297
Tinggi (m)	0,9296	0,0859
Diameter (m)	0,9296	0,0859
Volume (m ³)	1,2611	0,0010

Tabel 5. 11 Spesifikasi Tangki Flokulator (Penggumpal)

Spesifikasi Umum	
Kode	TF-01
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan
Jenis	Tangki silinder berpengaduk
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	1,7137
Diameter (m)	1,7137
Volume (m ³)	3,9508
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Marine propeller 3 blade</i>
Jumlah <i>Impeller</i>	1
<i>Power Motor</i> (hP)	0,75

Tabel 5. 12 Spesifikasi Sand Filter

Spesifikasi Umum	
Kode	TSF-01

Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air sungai
Jenis	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	0,6172
Diameter (m)	0,6549
Volume (m ³)	0,2078
Tinggi Lapisan Pasir (m)	0,5143
Ukuran Pasir (<i>mesh</i>)	28

Tabel 5. 13 Spesifikasi *Carbon Filter*

Spesifikasi Umum	
Kode	TCF-01
Fungsi	Menyaring pengotor berupa senyawa organik terlarut, klorin, dan oksida lainnya yang tersisa pada air hasil keluaran <i>sand filter</i>
Jenis	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	0,0376
Diameter (m)	0,0302
Volume (m ³)	0,2744
Massa Karbon Aktif (kg)	111,3914

Tabel 5. 14 Spesifikasi Klarifier

Spesifikasi Umum	
Kode	KL-01
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan koloid yang terbawa oleh air dan pengendap awal
Jenis	<i>Clarifier/tangki silinder conical bottom</i> berpengaduk
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	2,1591
Diameter (m)	2,1591

Volume (m ³)	7,9017
Tinggi Kerucut (m)	0,2699
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Marine propeller 3 blade</i>
Jumlah <i>Impeller</i>	1
Power Motor (hP)	0,75

5.8.2 Spesifikasi Alat Unit Pengolahan Air Domestik dan Service

Tabel 5. 15 Spesifikasi Tangki Air Domestik dan Service

Jenis Alat	Tangki Air Service	Tangki Air Bersih	Tangki Penyimpanan Kaporit
Spesifikasi Umum			
Kode	TAS-01	TAB-01	TPK-01
Fungsi	Menampung kebutuhan air untuk pemakaian layanan umum (<i>service water</i>)	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga	Menampung kebutuhan kaporit selama 1 tahun
Jenis	Tangki silinder	Tangki silinder	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus			
Tinggi (m)	2,9191	4,0282	0,4041
Diameter (m)	2,9191	4,0282	0,4041
Volume (m ³)	19,5264	51,3105	0,0518

Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki Klorinasi

Spesifikasi Umum	
Kode	TK-01
Fungsi	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk kebutuhan rumah tangga
Jenis	Tangki silinder berpengaduk
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	1,3965

Diameter (m)	1,3965
Volume (m ³)	2,1379
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Marine propeller 3 blade</i>
Jumlah <i>Impeller</i>	1
Power Motor (hP)	1

5.8.3 Spesifikasi Alat Unit Pengolahan Air *Steam*

Tabel 5. 17 Spesifikasi Pengolahan *Steam*

Jenis Alat	Tangki Umpan <i>Boiler/Demin Water</i>	Tangki H ₂ SO ₄	Tangki NaOH	Tangki N ₂ H ₄
Spesifikasi Umum				
Kode	TDW-01	TH-01	TNH-01	THD-01
Fungsi	Mencampur kondensat sirkulasi dan <i>makeup</i> air umpan <i>boiler</i> sebelum dibangkitkan sebagai <i>steam</i> dalam <i>boiler</i>	Menyimpan H ₂ SO ₄ untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan NaOH untuk regenerasi penukar anion	Menyimpan larutan N ₂ H ₄
Jenis	Tangki silinder	Tangki silinder	Tangki silinder	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 304</i>	<i>Stainless steel type 304</i>	<i>Stainless steel type 304</i>	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Khusus				
Tinggi (m)	0,6784	2,3114	1,5293	0,6821
Diameter (m)	0,6784	2,3114	1,5293	0,6821
Volume (m ³)	0,2451	9,6935	2,8078	0,2492

Tabel 5. 18 Spesifikasi *Kation Exchanger* (KE-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	KE-01

Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ion-ion positif (Na^+ , Ca^{2+} , Ba) dalam air
Jenis	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel type 304</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi Bed (m)	1,9050
Tinggi Tangki (m)	2,2860
Diameter Tangki (m)	2,2860
Volume Bed (m^3)	0,1738

Tabel 5. 19 Spesifikasi *Anion Exchanger* (AE-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	AE-01
Fungsi	Menghilangkan ion-ion negatif yang masih terbawa dari bak air bersih
Jenis	Tangki silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel 316</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi Bed (m)	1,9050
Tinggi Tangki (m)	2,2860
Diameter Tangki (m)	2,2860
Volume Bed (m^3)	0,1738

Tabel 5. 20 Spesifikasi *Deaerator* (DE-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	DE-01
Fungsi	Menghilangkan gas CO_2 dan O_2 yang terikat dalam <i>feed water</i> penyebab kerak pada <i>reboiler</i> dan turbin
Jenis	Tangki silinder horizontal
Spesifikasi Khusus	
Kapasitas (m^3/jam)	0,2043
Tinggi (m)	0,6784
Diameter (m)	0,6784

Volume (m ³)	0,2451
--------------------------	--------

Tabel 5. 21 Spesifikasi *Boiler* (BO-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	BO-01
Fungsi	Membuat <i>saturated steam</i>
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Kapasitas (kJ/jam)	3.446.049,5129
Suhu (°C)	150
Luas Perpindahan Panas (m ²)	24,4094
Kebutuhan Bahan Bakar (m ³ /jam)	0,3545

Tabel 5. 22 Spesifikasi Turbin (TB-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	TB-01
Fungsi	Menurunkan tekanan <i>high pressure steam</i> menjadi <i>low pressure steam</i>
Spesifikasi Khusus	
Suhu <i>Input</i> (K)	423
Suhu <i>Output</i> (K)	303
Tekanan <i>Input</i> (atm)	4,6986
Tekanan <i>Output</i> (atm)	3,3657
<i>Power</i> Standar (hP)	0,0500

5.8.4 Spesifikasi Alat Unit Penyedia Air Pendingin

Tabel 5. 23 Spesifikasi Bak Pengolahan Air Pendingin

Jenis Alat	Bak <i>Hot Basin</i>	Bak <i>Cold Basin</i>
Spesifikasi Umum		
Kode	BHB-01	BCB-01
Fungsi	Menampung air dari <i>output</i> alat proses pendingin	Menampung air untuk keperluan proses pendingin dan hasil dari <i>cooling tower</i>
Jenis	Bak persegi	Bak persegi
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	Beton bertulang	Beton bertulang
Spesifikasi Khusus		

Jenis Alat	Bak Hot Basin	Bak Cold Basin
Kapasitas (m ³ /jam)	0,1634	0,1634
Panjang (m)	1,0935	1,0935
Lebar (m)	1,0935	1,0935
Tinggi (m)	0,5468	0,5468

Tabel 5. 24 Spesifikasi *Cooling Tower* (CT-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	CT-01
Fungsi	Mendinginkan air keluaran <i>cooler</i> setelah digunakan
Sistem	Kontak langsung dengan udara didalam <i>cooling tower (fan)</i>
Jenis	<i>Induced draft cooling tower</i>
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel</i>
Kondisi Operasi	
Suhu Input (°C)	40
Suhu Output (°C)	30
Spesifikasi Khusus	
Luas Area Total (m ²)	0,0348
Diameter (m)	0,2107
Tinggi Bahan Isian (m)	0,3171
Tinggi Total (m)	3,3171
<i>Power Motor</i> (hP)	0,05

5.8.5 Spesifikasi Alat Unit Udara Tekan

Tabel 5. 25 Spesifikasi Kompresor

Spesifikasi Umum	
Kode	C-01
Fungsi	Mengompres udara menjadi udara bertekan (Menekan udara sebanyak jumlah yang ditentukan dan mengubah tekanan menjadi yang diinginkan)
Jenis	<i>Compressor reciprocating single stage</i>
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel</i>
Kondisi Operasi	

Suhu Udara (°C)	27
Tekanan <i>Input</i> (atm)	1
Tekanan <i>Output</i> (atm)	7,2
Spesifikasi Khusus	
Flow Udara (m ³ /jam)	63,2102
Power Standar (hP)	7,5

Tabel 5. 26 Spesifikasi Tangki *Silica Gel* (TSG-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	TSG-01
Fungsi	Menampung udara kering
Jenis	Tangki Silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	0,9880
Diameter (m)	0,9880
Volume (m ³)	1,1356

5.8.6 Spesifikasi Alat Unit Penyedia Bahan Bakar

Tabel 5. 27 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (TBB-01)

Spesifikasi Umum	
Kode	TBB-01
Fungsi	Menyimpan bahan bakar <i>Industrial Diesel Oil (IDO)</i> untuk <i>boiler</i> dan generator selama 7 hari
Jenis	Tangki Silinder
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Khusus	
Tinggi (m)	4,8948
Diameter (m)	4,8948
Volume (m ³)	92,0601

5.8.7 Spesifikasi Pompa Utilitas

Tabel 5. 28 Spesifikasi Pompa Utilitas

Jenis Alat	Pompa (PU-01)	Pompa (PU-02)	Pompa (PU-03)
Spesifikasi Umum			

Jenis Alat	Pompa (PU-01)	Pompa (PU-02)	Pompa (PU-03)
Kode	PU-01	PU-02	PU-03
Fungsi	Mengalirkan hasil <i>screening</i> (SCR-01) menuju bak sedimentasi (BS-01)	Mengalirkan hasil tangki CaOH (TCH-01) menuju tangki floakulator (TF-01)	Mengalirkan hasil tangki tawas (TLA-01) menuju floakulator (TF-01)
Jenis	<i>Centrifugal pump single stage</i>	<i>Centrifugal pump single stage</i>	<i>Centrifugal pump single stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	325.315.865,09	71.760.852,59	47.840.568,40
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8177	10	37,8356
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	3,8620	0,0079	1,44E-16
Kecepatan Aliran, ft/s	0,1888	0,0581	3,50E-05
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0379	0,0001	1,4081E-08
<i>Power Motor</i> , Hp	0,2500	0,0500	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0176	0,0000	0,0000
Dimensi			
IPS, in	6	0,375	0,1250
OD, in	6,625	0,675	0,4050
ID, in	6,065	0,493	0,2690
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	28,9	0,192	0,0580

Tabel 5. 29 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-04)	Pompa (PU-05)	Pompa (PU-06)
Spesifikasi Umum			
Kode	PU-04	PU-05	PU-06

Jenis Alat	Pompa (PU-04)	Pompa (PU-05)	Pompa (PU-06)
Fungsi	Mengalirkan hasil bak sedimentasi ke tangki flokulator (TF-01)	Mengalirkan hasil tangki flokulator (TF-01) menuju klarifier (KL-01)	Mengalirkan hasil klarifier (KL-01) menuju <i>sand filter</i> (TSF-01)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	325.315.865,09	325.315.865,09	325.315.865,09
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8177	0,8231	0,8177
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	3,8620	3,8619	3,8620
Kecepatan Aliran, ft/s	0,1888	0,1888	0,1888
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0379	0,0379	0,0379
<i>Power Motor</i> , Hp	1,5000	1,5000	1,5000
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0251	0,0251	0,0408
Dimensi			
IPS, in	6	6	6
OD, in	6,625	6,625	6,625
ID, in	6,065	6,065	6,065
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	28,9	28,9	28,9

Tabel 5. 30 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-07)	Pompa (PU-08)	Pompa (PU-09)
Spesifikasi Umum			
Kode	PU-07	PU-08	PU-09

Jenis Alat	Pompa (PU-07)	Pompa (PU-08)	Pompa (PU-09)
Fungsi	Mengalirkan hasil <i>sand filter</i> (TSF-01) menuju karbon filter (KF-01)	Mengalirkan hasil karbon filter (KF-01) menuju bak penampungan sementara (BPS-01)	Mengalirkan hasil bak penampungan (BPS-01) menuju tangki air <i>service</i> (TAS-01)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	325.315.865,09	325.315.865,09	95.681.136,79
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8231	0,8177	0,8231
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	3,8619	3,8620	0,6627
Kecepatan Aliran, ft/s	0,1888	0,1888	1,7532
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0379	0,0379	0,0065
<i>Power Motor</i> , Hp	0,1667	0,5000	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0135	0,0339	0,0060
Dimensi			
IPS, in	6	6	0,75
OD, in	6,625	6,625	1,050
ID, in	6,065	6,065	0,824
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	28,9	28,9	0,534

Tabel 5. 31 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-10)	Pompa (PU-11)	Pompa (PU-12)
Spesifikasi Umum			
Kode	PU-10	PU-11	PU-12

Jenis Alat	Pompa (PU-10)	Pompa (PU-11)	Pompa (PU-12)
Fungsi	Mengalirkan hasil bak penampungan (BPS-01) menuju tangki klorinasi (KL-01)	Mengalirkan hasil tangki klorinasi (KL-01) menuju tangki air bersih (TAB-01)	Mengalirkan hasil bak penampungan (BPS-01) menuju <i>cold basin</i> (BCB-01)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	131.561.563,09	131.561.563,09	71.760.852,59
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8177	0,8231	0,8177
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	2,0898	2,0898	0,1917
Kecepatan Aliran, ft/s	1,9681	1,9681	1,4106
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0205	0,0205	0,0019
<i>Power Motor</i> , Hp	0,0833	0,0500	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0117	0,0274	0,0022
Dimensi			
IPS, in	1,2500	1,2500	0,3750
OD, in	1,6600	1,6600	0,6750
ID, in	1,3800	1,3800	0,4930
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	1,500	1,500	0,1920

Tabel 5. 32 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-13)	Pompa (PU-14)	Pompa (PU-15)
Spesifikasi Umum			
Kode	PU-13	PU-14	PU-15

Jenis Alat	Pompa (PU-13)	Pompa (PU-14)	Pompa (PU-15)
Fungsi	Mengalirkan hasil <i>hot basin</i> (BHB-01) menuju <i>cooling tower</i> (CT-01)	Mengalirkan hasil <i>cooling tower</i> (CT-01) menuju <i>cold basin</i> (BCB-01)	Mengalirkan hasil <i>cold basin</i> (BCB-01) menuju unit proses
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	71.760.852,59	71.760.852,59	119.601.420,99
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8231	0,8177	0,8177
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	0,1917	0,1917	0,1917
Kecepatan Aliran, ft/s	1,4106	1,4106	1,4106
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0019	0,0019	0,0019
<i>Power Motor</i> , Hp	0,0500	0,0500	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0038	0,0107	0,0019
Dimensi			
IPS, in	0,3750	0,3750	0,3750
OD, in	0,6750	0,6750	0,6750
ID, in	0,4930	0,4930	0,4930
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	0,1920	0,1920	0,1920

Tabel 5. 33 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-16)	Pompa (PU-17)	Pompa (PU-18)
Spesifikasi Umum			
Kode	PU-16	PU-17	PU-18

Jenis Alat	Pompa (PU-16)	Pompa (PU-17)	Pompa (PU-18)
Fungsi	Mengalirkan hasil bak sedimentasi (BPS-01) menuju <i>kation exchanger</i> (KE-01)	Mengalirkan hasil <i>kation exchanger</i> (KE-01) menuju <i>anion exchanger</i> (AE-01)	Mengalirkan hasil <i>anion exchanger</i> (AE-01) menuju <i>demin water tank</i> (TDW-01)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	112.425.335,73	112.425.335,73	112.425.335,73
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8177	0,8177	0,8177
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	0,7851	0,7851	0,7851
Kecepatan Aliran, ft/s	1,2836	1,2836	1,2836
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0077	0,0077	0,0077
<i>Power Motor</i> , Hp	0,0500	0,0500	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0028	0,0218	0,0218
Dimensi			
IPS, in	1	1	1
OD, in	1,3200	1,3200	1,3200
ID, in	1,0490	1,0490	1,0490
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	0,8640	0,8640	0,8640

Tabel 5. 34 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-19)	Pompa (PU-20)	Pompa (PU-21)
Spesifikasi Umum			
Kode	PU-19	PU-20	PU-21

Jenis Alat	Pompa (PU-19)	Pompa (PU-20)	Pompa (PU-21)
Fungsi	Mengalirkan hasil <i>demin water tank</i> (TDW-01) menuju <i>daerator</i> (DE-01)	Mengalirkan hasil <i>dearator</i> (DE-01) menuju <i>boiler</i> (BO-01)	Mengalirkan hasil tangki H ₂ SO ₄ (TH-01) menuju <i>kation exchanger</i> (KE-01)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1	1
Harga, Rp	59.800.710,49	59.800.710,49	59.800.710,49
Kondisi Operasi			
Viskositas, cP	0,8177	0,8177	20,0033
Suhu, °C	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1
Konstruksi Dan Material Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>
Spesifikasi Data Desain			
Kapasitas, m ³ /jam	0,2396	0,2396	0,0318
Kecepatan Aliran, ft/s	3,2547	3,2547	0,4325
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0024	0,0024	0,0003
<i>Power Motor</i> , Hp	0,0500	0,0500	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,0255	0,0255	0,0027
Dimensi			
IPS, in	0,2500	0,2500	0,2500
OD, in	0,5400	0,5400	0,5400
ID, in	0,3640	0,3640	0,3640
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	0,1040	0,1040	0,1040

Tabel 5. 35 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Jenis Alat	Pompa (PU-22)	Pompa (PU-23)
Spesifikasi Umum		
Kode	PU-22	PU-23
Fungsi	Mengalirkan hasil tangki NaOH (TNH-01) menuju <i>anion exchanger</i> (AE-01)	Mengalirkan hasil tangki N ₂ H ₄ (THD-01) menuju <i>dearator</i> (DE-01)

Jenis Alat	Pompa (PU-22)	Pompa (PU-23)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Jumlah Unit	1	1
Harga, Rp	81.328.966,27	47.840.568,40
Kondisi Operasi		
Viskositas, cP	2344,0011	0,8461
Suhu, °C	30	30
Tekanan, atm	1	1
Konstruksi Dan Material	<i>Carbon steel SA-283</i>	<i>Carbon steel SA-283</i>
Bahan Konstruksi	<i>grade C</i>	<i>grade C</i>
Spesifikasi Data Desain		
Kapasitas, m ³ /jam	0,2192	1,47E-04
Kecepatan Aliran, ft/s	1,0186	0,0036
<i>Rate Volumetric</i> , ft ³ /s	0,0022	1,44E-06
<i>Power Motor</i> , Hp	1,5000	0,0500
<i>Power Pompa</i> , Hp	0,8280	0,0000
Dimensi		
IPS, in	0,5000	0,1250
OD, in	0,8400	0,4050
ID, in	0,6220	0,2690
<i>Schedule Number</i>	40	40
<i>Flow Area</i> , in ²	0,3040	0,0580

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi dalam perancangan pabrik dilakukan untuk menilai kelayakan pendirian dan operasional pabrik dari aspek finansial. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui bahwa pabrik yang dirancang mampu memberikan keuntungan yang layak serta memiliki prospek keberlanjutan secara ekonomi. Selain itu, evaluasi ekonomi juga digunakan untuk meninjau berbagai parameter penting, seperti kebutuhan modal investasi, tingkat keuntungan yang diperoleh, waktu pengembalian modal, serta hubungan antara kapasitas produksi dan tingkat profitabilitas perusahaan. Dalam analisis kelayakan ekonomi, terdapat beberapa parameter yang digunakan sebagai indikator penilaian, antara lain:

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

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

1. Modal (*Capital Investment*)
 - a. Investasi modal tetap (*Fixed Capital Cost*): Biaya yang digunakan untuk pembangunan pabrik serta pengadaan peralatan dan fasilitas penunjang operasional.

- b. Investasi modal kerja (*Working Capital Investment*): Biaya yang diperlukan untuk mendukung kegiatan operasional pabrik selama periode tertentu, seperti pembelian bahan baku dan biaya utilitas.

2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

- a. Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*): Biaya yang secara langsung berkaitan dengan proses produksi, seperti bahan baku, utilitas, dan tenaga kerja operasional.
- b. Biaya produksi tidak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*): Biaya yang timbul secara tidak langsung dalam kegiatan produksi, seperti biaya pemeliharaan, pengawasan, dan administrasi produksi.
- c. Biaya tetap produksi (*Fixed Manufacturing Cost*) : Biaya yang dikeluarkan secara rutin, terlepas dari produksi.

3. Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Biaya terkait fungsi perusahaan yang tidak termasuk dalam biaya produksi.

4. Analisis Kelayakan Ekonomi

Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat bahaya dalam operasional, baik yang termasuk risiko tinggi maupun rendah. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk menentukan tindakan pencegahan yang tepat demi meminimalkan dampak buruk yang mungkin terjadi.

5. Analisis Kelayakan Ekonomi

- a. *Percent return on investment (ROI)*: Menunjukkan tingkat keuntungan yang diperoleh dibandingkan dengan total modal investasi yang ditanamkan.
- b. *Pay out time (POT)*: Menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi dari keuntungan yang diperoleh pabrik.
- c. *Break event point (BEP)*: Menunjukkan kondisi saat total pendapatan sama dengan total biaya sehingga perusahaan tidak mengalami keuntungan maupun kerugian.
- d. *Shut down point (SDP)*: Menunjukkan batas minimum kapasitas produksi di mana pabrik masih dapat beroperasi tanpa mengalami kerugian yang lebih besar.
- e. *Discounted cash flow rate of return (DCFRR)*: Merupakan metode analisis ekonomi yang mempertimbangkan nilai waktu terhadap uang untuk menilai kelayakan investasi pabrik (tingkat pengembalian investasi).

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga alat proses dipengaruhi oleh situasi ekonomi yang tengah berlangsung sehingga dapat berubah tergantung pada kondisi ekonomi saat itu. Dengan demikian, perlu diperkirakan harga alat proses pada tahun didirikannya pabrik karboksimetil selulosa yang direncanakan akan didirikan pada tahun 2035 dengan indeks harga alat. Indeks harga pada tahun perencanaan yaitu tahun 2025 ditentukan dengan regresi linear terhadap indeks harga tahun sebelumnya, data

indeks harga tersebut didapat dari *Chemical Engineering Plant Cost* (CEPCI)

seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1 berikut:

Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat Pada Tahun 1963 – 2036

No.	Tahun	Index (Y ₁)	No.	Tahun	Index (Y ₁)
1.	1963	102,4	38.	2000	394,1
2.	1964	103,3	39.	2001	443,7
3.	1965	104,2	40.	2002	453,2
4.	1966	107,2	41.	2003	462,8
5.	1967	109,7	42.	2004	472,3
6.	1968	113,7	43.	2005	481,8
7.	1969	119,0	44.	2006	491,3
8.	1970	125,7	45.	2007	500,8
9.	1971	132,3	46.	2008	510,4
10.	1972	137,2	47.	2009	519,9
11.	1973	144,1	48.	2010	529,4
12.	1974	165,4	49.	2011	538,9
13.	1975	182,4	50.	2012	548,4
14.	1976	192,1	51.	2013	558,0
15.	1977	204,1	52.	2014	567,5
16.	1978	218,8	53.	2015	577,0
17.	1979	238,7	54.	2016	586,5
18.	1980	261,2	55.	2017	596,1
19.	1981	297,0	56.	2018	605,6
20.	1982	314,0	57.	2019	615,1
21.	1983	317,0	58.	2020	624,6
22.	1984	322,7	59.	2021	634,1
23.	1985	325,3	60.	2022	643,7
24.	1986	318,4	61.	2023	653,2
25.	1987	323,8	62.	2024	662,7
26.	1988	342,5	63.	2025	672,2
27.	1989	355,4	64.	2026	681,7
28.	1990	357,6	65.	2027	691,3
29.	1991	361,3	66.	2028	700,8
30.	1992	358,2	67.	2029	710,3
31.	1993	359,2	68.	2030	719,8
32.	1994	368,1	69.	2031	729,4
33.	1995	381,1	70.	2032	738,9
34.	1996	381,7	71.	2033	748,4
35.	1997	386,5	72.	2034	757,9
36.	1998	389,5	73.	2035	767,4

No.	Tahun	Index (Y ₁)	No.	Tahun	Index (Y ₁)
37.	1999	390,6	74.	2036	777,0

Dalam menentukan nilai atau harga peralatan untuk tahun pendirian pabrik, terdapat dua metode pendekatan yang dapat diaplikasikan. Harga perangkat pada saat pabrik dibangun dapat dihitung dengan membandingkan harga pada tahun referensi yang kemudian dikalikan dengan rasio indeks harga. Landasan perhitungan ini merujuk pada metodologi yang disusun oleh Aries dan Newton (1955) serta Peters dan Timmerhaus (1990). Secara sistematis, hubungan antara harga acuan dan perubahan nilai mata uang tersebut dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$E_x = E_y \frac{N_x}{N_y} \quad (6.1)$$

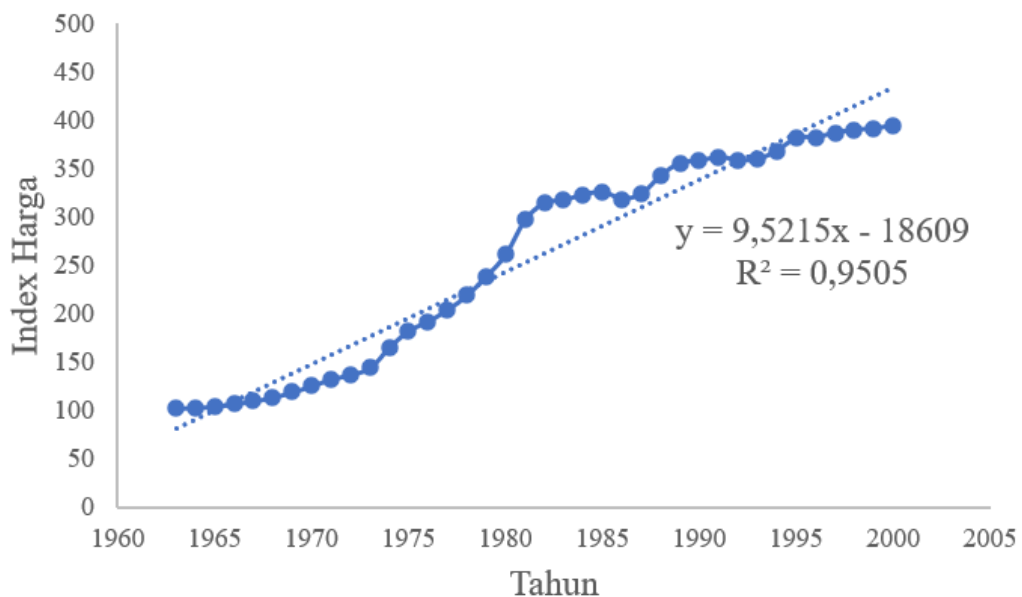
Dimana:

E_x : Harga peralatan pada tahun pembangunan pabrik (2035)

E_y : Harga peralatan pada tahun referensi (2014)

N_x : Indeks harga pada tahun 2035

N_y : Indeks harga pada tahun 2014



Gambar 6. 1 Grafik Regresi Linear Kenaikan Index

Berdasarkan tren data yang disajikan pada grafik, perhitungan dilakukan menggunakan analisis regresi linear untuk memproyeksikan nilai indeks harga di masa mendatang. Dari hasil pengolahan data tersebut, diperoleh persamaan regresi $y = 9,5215x - 18609$ sebagai dasar penghitungan nilai *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI).

Berdasarkan fungsi linear tersebut, diketahui bahwa nilai indeks pada tahun referensi 2014 adalah sebesar 567,5. Sementara itu, untuk tahun perancangan pabrik pada 2035, nilai CEPCI diproyeksikan meningkat hingga mencapai 767,4. Nilai indeks yang telah diperoleh ini kemudian digunakan sebagai parameter utama dalam menentukan estimasi harga perangkat, baik untuk kebutuhan peralatan proses maupun unit utilitas, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 6. 2 Harga Alat Proses

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	N _y	N _x	E _y	E _x
					2014	2035
Tangki Aseton	T-01	1	567,5	767,4	\$973.800,00	\$1,316,913,88
Silo Natrium Hidroksida	SL-01	1	567,5	767,4	\$24.800,00	\$33.538,16
Silo Tepung Selulosa	SL-02	1	567,5	767,4	\$191.300,00	\$258.703,66
Silo Sodium Monokloroasetat	SL-03	1	567,5	767,4	\$115.900,00	\$156.736,82
Silo Karboksimetil Selulosa	SL-04	1	567,5	767,4	\$239.700,00	\$324.157,18
Reaktor Alkalisasi	R-01	1	567,5	767,4	\$367.300,00	\$496.716,44
Reaktor Eterifikasi	R-02	1	567,5	767,4	\$259.700,00	\$351.204,08
Mixer Natrium Hidroksida	M-01	1	567,5	767,4	\$51.000,00	\$68.969,61
Mixer Aseton	M-02	1	567,5	767,4	\$117.400,00	\$158.765,34
Mixer Sodium Monokloroasetat	M-03	1	567,5	767,4	\$56.300,00	\$76.137,04
Rotary Drum Vacuum Filter	RDVF-01	1	567,5	767,4	\$184.300,00	\$249.237,24
Rotary Dryer	RD-01	1	567,5	767,4	\$98.300,00	\$132.935,55
Ball Mill	BM-01	1	567,5	767,4	\$39.100,00	\$52.876,70
Vibrating Screener	VS-01	1	567,5	767,4	\$7.200,00	\$9.736,89
Heater	HT-01	1	567,5	767,4	\$1.000,00	\$1.352,35
Heater Udara	HT-02	1	567,5	767,4	\$800,00	\$946,64
Cooler	CL-01	1	567,5	767,4	\$300,00	\$405,70
Filter Udara	FL-01	1	567,5	767,4	\$2.100,00	\$2.839,93
Blower	BL-01	1	567,5	767,4	\$2.100,00	\$2.839,93

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	N _y	N _x	E _y	E _x
					2014	2035
<i>Screw Conveyor</i>	SC-01	1	567,5	767,4	\$3.800,00	\$5.138,91
<i>Screw Conveyor</i>	SC-02	1	567,5	767,4	\$3.800,00	\$5.138,91
	SC-03	1	567,5	767,4	\$3.800,00	\$5.138,91
	SC-04	1	567,5	767,4	\$3.800,00	\$5.138,91
	SC-05	1	567,5	767,4	\$3.800,00	\$5.138,91
<i>Cooling Screw Conveyor</i>	CSC-01	1	567,5	767,4	\$3.800,00	\$5.138,91
<i>Bucket Elevator</i>	BE-01	1	567,5	767,4	\$5.700,00	\$7.708,37
	BE-02	1	567,5	767,4	\$15.000,00	\$20.285,18
Pompa	P-01	1	567,5	767,4	\$2.100,00	\$2.839,93
	P-02	1	567,5	767,4	\$3.700,00	\$5.003,68
	P-03	1	567,5	767,4	\$3.700,00	\$5.003,68
	P-04	1	567,5	767,4	\$3.100,00	\$4.192,27
	P-05	1	567,5	767,4	\$8.100,00	\$10.954,00
	P-06	1	567,5	767,4	\$8.100,00	\$10.954,00
	P-07	1	567,5	767,4	\$8.100,00	\$10.954,00
Total Harga Alat Proses					\$2,804,700.00	\$3,803,876.94
					Rp49.609.533.600,00	Rp67.282.975.391,36

Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	N _y	N _x	E _y	E _x
					2014	2035
Bak Sedimentasi	BS-01	1	567,5	767,4	\$32.900,00	\$44.492,16
Floakulator	TF-01	1	567,5	767,4	\$135.400,00	\$183.107,56
Klarifier	KL-01	1	567,5	767,4	\$184.800,00	\$249.913,42
<i>Sand Filter</i>	TSF-01	1	567,5	767,4	\$2.300,00	\$3.110,39
<i>Karbon Filter</i>	TCF-01	1	567,5	767,4	\$2.600,00	\$3.516,10
Bak Sementara	BPS-01	1	567,5	767,4	\$135.400,00	\$183.107,56
Tangki Air Service	TAS-01	1	567,5	767,4	\$23.400,00	\$31.644,88
Tangki Klorinasi	TK-01	1	567,5	767,4	\$105.100,00	\$142.131,49
Tangki Air Bersih	TAB-01	1	567,5	767,4	\$38.500,00	\$52.065,30
<i>Hot Basin</i>	BHB-01	1	567,5	767,4	\$4.600,00	\$6.220,79
<i>Cooling Tower</i>	CT-01	1	567,5	767,4	\$12.300,00	\$16.633,85
<i>Screening</i>	SCR-01	1	567,5	767,4	\$95.03	\$128,51
<i>Kation Exchanger</i>	KE-01	1	567,5	767,4	\$5.000,00	\$6.761,73
<i>Anion Exchanger</i>	AE-01	1	567,5	767,4	\$5.000,00	\$6.761,73
Tangki Kaporit	TPK-01	1	567,5	767,4	\$1.100,00	\$1.487,58
<i>Daerator</i>	DE-01	1	567,5	767,4	\$3.500,00	\$4.733,21
<i>Boiler</i>	BO-01	1	567,5	767,4	\$214.200,00	\$289.672,37
<i>Demin Water</i>	TDW-01	1	567,5	767,4	\$3.500,00	\$4.733,21
Tangki H ₂ SO ₄	TH-01	1	567,5	767,4	\$44.300,00	\$59.908,90
Tangki NaOH	TNH-01	1	567,5	767,4	\$23.500,00	\$31.780,12

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	N _y	N _x	E _y	E _x
					2014	2035
Tangki CaOH	TCH-01	1	567,5	767,4	\$5.700,00	\$7.708,37
Tangki Alum	TLA-01	1	567,5	767,4	\$100,00	\$135,23
<i>Cold Basin</i>	BCB-01	1	567,5	767,4	\$4.600,00	\$6.220,79
Tangki <i>Hydrazine</i> (N ₂ H ₄)	THD-01	1	567,5	767,4	\$3.500,00	\$4.733,21
Kompresor	C-01	1	567,5	767,4	\$54.700,00	\$73.973,29
Tangki <i>Silica Gel</i>	TSG-01	1	567,5	767,4	\$5.400,00	\$7.302,66
Tangki Bahan Bakar	TBB-01	1	567,5	767,4	\$33.700,00	\$45.574,04
Turbin	TB-01	1	567,5	767,4	\$200,00	\$270,47
Generator	G-01	1	567,5	767,4	\$43.928,08	\$59.405,93
Pompa	PU-01	1	567,5	767,4	\$13.600,00	\$18.391,90
	PU-02	1	567,5	767,4	\$3.000,00	\$4.057,04
	PU-03	1	567,5	767,4	\$2.000,00	\$2.704,69
	PU-04	1	567,5	767,4	\$13.600,00	\$18.391,90
	PU-05	1	567,5	767,4	\$13.600,00	\$18.391,90
	PU-06	1	567,5	767,4	\$13.600,00	\$18.391,90
	PU-07	1	567,5	767,4	\$13.600,00	\$18.391,90
	PU-08	1	567,5	767,4	\$13.600,00	\$18.391,90
	PU-09	1	567,5	767,4	\$4.000,00	\$5.409,38
	PU-10	1	567,5	767,4	\$5.500,00	\$7.437,90
	PU-11	1	567,5	767,4	\$5.500,00	\$7.437,90
	PU-12	1	567,5	767,4	\$3.000,00	\$4.057,04
	PU-13	1	567,5	767,4	\$3.000,00	\$4.057,04
	PU-14	1	567,5	767,4	\$3.000,00	\$4.057,04

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	N _y	N _x	E _y	E _x
					2014	2035
Pompa	PU-15	1	567,5	767,4	\$5.000,00	\$6.761,73
	PU-16	1	567,5	767,4	\$4.700,00	\$6.356,02
	PU-17	1	567,5	767,4	\$4.700,00	\$6.356,02
	PU-18	1	567,5	767,4	\$4.700,00	\$6.356,02
	PU-19	1	567,5	767,4	\$2.500,00	\$3.380,86
	PU-20	1	567,5	767,4	\$2.500,00	\$3.380,86
	PU-21	1	567,5	767,4	\$2.500,00	\$3.380,86
	PU-22	1	567,5	767,4	\$3.400,00	\$4.597,97
	PU-23	1	567,5	767,4	\$2.000,00	\$2.704,69
Total Harga Alat Utilitas					\$1.271.923,11	\$1.720.079,27
					\$22.497.775.900,23	\$30.424.762.174,93

6.2 Dasar Perhitungan

Dasar-dasar perhitungan parameter-parameter sebagai berikut:

1. Kapasitas Produksi : 4.000 ton/tahun
2. Hari Operasi : 330 hari/tahun
3. Umur Alat : 10 tahun
4. Nilai Tukar : Rp17,688/ USD (per tanggal 25 Mei 2026)
5. Tahun Pendirian Pabrik : 2035
6. UMR Kabupaten Serang (2035) : ± Rp6.344.429

6.3 Perhitungan Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Investment*)

Capital Investment adalah dana yang diinvestasikan untuk pembelian aset tetap seperti tanah, bangunan, mesin, dan peralatan, serta biaya pra-operasional seperti studi kelayakan dan izin, dengan tujuan menghasilkan keuntungan dalam jangka panjang melalui produksi dan penjualan barang. *Capital investment* terdiri dari:

- 1) Investasi Modal Tetap (*Fixed Capital Cost*)

Fixed capital cost merupakan pengeluaran awal untuk memperoleh aset fisik permanen yang diperlukan dalam pendirian suatu fasilitas produksi, dimana nilai investasi ini bersifat tetap dan tidak dipengaruhi oleh tingkat kapasitas produksi.

Tabel 6. 4 *Physical Plant Cost* (PPC)

No.	Komponen	Biaya (Rp)	Biaya (US \$)
1.	<i>Purchasing Equipment Cost (PEC)</i>	15.340.114.797,91	\$867.261,13

No.	Komponen	Biaya (Rp)	Biaya (US \$)
2.	<i>Delivered Equipment Cost (DEC)</i>	3.835.028.699,48	\$216.815,28
3.	<i>Installation, Insultation, Painting (Equipment Installation Cost - Biaya Pemasangan Alat)</i>	3.835.028.699,48	\$216.815,28
4.	<i>Instrumentation And Control Cost - Biaya Instrumentasi Dan Kontrol</i>	920.406.887,87	\$52.035,67
5.	<i>Piping Cost - Biaya Pemipaan</i>	1.534.011.479,79	\$86.726,11
6.	<i>Electrical Installation - Biaya Instalasi Listrik</i>	1.534.011.479,79	\$86.726,11
7.	<i>Buildings, Process and Auxiliary (Building Including Services - Biaya Bangunan)</i>	51.701.334.312,59	\$2.922.961,01
8.	<i>Yard Improvement - Pengembangan Lahan</i>	6.136.045.919,16	\$346.904,45
9.	<i>Services Facilities</i>	4.602.034.439,37	\$260.178,34
10.	<i>Land - Tanah</i>	162.855.000.000,00	\$9.207.089,55
11.	<i>Start Up Expenses Cost</i>	170.266.328,99	\$9.626,09
Total		252.463.283.044,43	\$14.273.139,02

Tabel 6. 5 *Direct Plant Cost (DPC)*

No.	Komponen	Biaya (Rp)	Biaya (US \$)
<i>Indirect Cost</i>			
1.	<i>Engineering And Supervision Cost - Biaya Teknik Dan Supervisi</i>	12.623.164.152,22	\$713.656,95
2.	<i>Construction Cost - Biaya Konstruksi</i>	15.147.796.982,67	\$856.388,34
<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>		252.463.283.044,43	\$14.273.139,02
Total		280.234.244.179,32	\$15.843.184,32

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

No.	Komponen	Biaya (Rp)	Biaya (US \$)
1.	<i>Direct Plant Cost</i>	280.234.244.179,32	\$15.843.184,32
2.	<i>Contractor Fee</i>	16.814.054.650,76	\$950.591,06
3.	<i>Contingency Cost</i>	14.011.712.208,97	\$792.159,22
Total		311.060.011.039,05	\$17.585.934,59

2) Investasi Modal Kerja (*Working Capital Investment*)

Investasi modal kerja (*working capital investment*) merujuk pada dana yang dialokasikan untuk menjamin kelangsungan operasional pabrik dalam periode tertentu. Dana ini berfungsi sebagai pendukung aktivitas produksi dan operasi sehari-hari. Pembiayaan pembangunan pabrik dapat diperoleh melalui berbagai sumber, termasuk dana pinjaman perbankan, modal internal, maupun suntikan dana dari investor eksternal. Tujuan fundamental dari investasi ini adalah untuk menghasilkan imbal hasil (*return*) atas dana yang dikeluarkan. Ciri-ciri investasi yang ideal meliputi:

- Profitabilitas tinggi - mampu memberikan keuntungan optimal
- Payback period* singkat - periode pengembalian modal yang cepat
- Kepatuhan hukum - memenuhi semua regulasi yang berlaku
- Dukungan teknologi - didukung oleh peralatan dan sistem yang memadai
- Tingkat keamanan - memiliki risiko yang terkendali dan aman

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

No.	Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	<i>Raw Material Inventory</i>	5.462.482.097,05	\$308.824,18
2.	<i>Inprocess Inventory</i>	221.264.687.352,11	\$12.509.310,68
3.	<i>Product Inventory</i>	12.292.482.630,67	\$694.961,70
4.	<i>Extended Credit</i>	295.019.583.136,14	\$16.679.080,91

No.	Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (US \$)
5.	Available Cash	12.292.482.630,67	\$694.961,70
Total Working Capital Investment		546.331.717.846,65	\$30.887.139,18

6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing cost adalah biaya yang diperlukan untuk kegiatan produksi suatu pabrik. *Manufacturing cost* terdiri dari *direct*, *indirect*, dan *fixed manufacturing cost* yang berkaitan dengan proses pembuatan produknya. Menurut Aries dan Newton (1955) *manufacturing cost* meliputi:

1. Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)

Direct manufacturing cost merupakan biaya yang secara langsung digunakan dalam proses produksi, seperti biaya bahan baku dan tenaga kerja yang terlibat langsung dalam pembuatan produk.

Tabel 6. 8 *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

No.	Type of Manufacturing Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Raw Material	65.549.785.164,58	\$3.705.890,16
2.	Operating Labor (Tenaga Kerja/Pekerja Operasi)	12.807.600.000,00	\$724.084,12
3.	Direct Supervisory And Clerical Labor	1.280.760.000,00	\$72.408,41
4.	Perawatan Dan Perbaikan (Maintenance And Repair)	6.221.200.220,78	\$351.718,69
5.	Plant Supplies	933.180.033,12	\$52.757,80
6.	Royalty And Patents	2.671.441.850,19	\$151.031,31
7.	Utilities	13.436.882.270,41	\$759.660,92
Total Direct Manufacturing Cost		102.900.849.539,08	\$5.817.551,42

2. Biaya produksi tidak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)

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

Tabel 6. 9 *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

No.	Type of Manufacturing Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Payroll Overhead	1.921.140.000,00	\$108.612,62
2.	Laboratory	1.280.760.000,00	\$72.408,41
3.	Plant Overhead	8.965.320.000,00	\$506.858,89
4.	Packaging And Shipping	1.335.720.925,09	\$75.515,66
Total Indirect Manufacturing Cost		13.502.940.925,09	\$763.395,57

3. Biaya tetap produksi (*Fixed Manufacturing Cost*)

Fixed cost adalah biaya pengeluaran yang bersifat tetap, yang tidak dipengaruhi oleh tingkat produksi dan waktu atau pengeluaran ketika pabrik beroperasi maupun tidak beroperasi.

Tabel 6. 10 *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

No.	Type of Manufacturing Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Depreciation	24.884.800.883,12	\$1.406.874,77
2.	Property Taxes	3.110.600.110,39	\$175.859,35
3.	Insurance	3.110.600.110,39	\$175.859,35
Total Fixed Manufacturing Cost		31.106.001.103,90	\$1.758.593,46

Tabel 6. 11 *Total Manufacturing Cost (MC)*

No.	Type of Manufacturing Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Direct Manufacturing Cost (DMC)	102.900.849.539,08	\$5.817.551,42
2.	Indirect Manufacturing Cost (IMC)	13.502.940.925,09	\$763.395,57
3.	Fixed Manufacturing Cost (FMC)	31.106.001.103,90	\$1.758.593,46
Total Manufacturing Cost		147.509.791.568,07	\$8.339.540,46

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Pengeluaran umum atau *General Expenses* adalah pengeluaran yang diperlukan untuk menjalankan operasional perusahaan sehari-hari, tetapi tidak berkaitan langsung dengan proses produksi. Biaya ini meliputi segala pengeluaran

yang menunjang aktivitas dan fungsi perusahaan secara keseluruhan, di luar proses manufaktur langsung.

Tabel 6. 12 Total *General Expense* (GE)

No.	Type of Expenses	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Administration	5.900.391.662,72	\$333.581,62
2.	Sales	14.750.979.156,81	\$833.954,05
3.	Research	5.900.391.662,72	\$333.581,62
4.	Finance	42.869.586.444,28	\$2.423.653,69
Total General Expenses		69.421.348.926,54	\$3.924.770,97

Tabel 6. 13 Total *Production Cost* (Biaya Produksi)

No.	Type of Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Manufacturing Cost (MC)	147.509.791.568,07	\$8.339.540,46
2.	General Expenses (GE)	69.421.348.926,54	\$3.924.770,97
Total Production Cost		216.931.140.494,61	\$12.264.311,43

6.4 Analisa Keuntungan

a. Keuntungan Sebelum Pajak

Total penjualan : Rp267.144.185.018,54

Total biaya produksi : Rp216.931.140.494,61

Keuntungan Sebelum Pajak : Total Penjualan – Total Biaya Produksi (6.2)

: Rp267.144.185.018,54 – Rp216. 931.140.494,61

: Rp50.213.044.523,93

b. Keuntungan Setelah Pajak

Perhitungan laba setelah pajak pada perancangan pabrik ini didasarkan pada ketentuan tarif Pajak Penghasilan (PPh) Badan yang berlaku di Indonesia. Sesuai dengan Undang-Undang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (HPP) Nomor 7 Tahun 2021, tarif PPh Badan yang berlaku mulai Tahun Pajak 2022 hingga tahun sekarang

ditetapkan sebesar 22%. Dengan demikian, keuntungan bersih perusahaan diperoleh setelah pengurangan pajak sebesar 22% dari laba sebelum pajak.

Pajak 22% dari keuntungan : Rp11.046.869.795,26

Keuntungan : Keuntungan Sebelum Pajak – Pajak (6.3)

: Rp50.213.044.523,93– Rp11.046.869.795,26

: Rp39.166.174.728,66

6.5 Analisis Risiko Pabrik

Salah satu aspek penting dalam perencanaan pendirian pabrik adalah melakukan evaluasi terhadap tingkat risiko operasional untuk menentukan apakah pabrik termasuk dalam kategori risiko rendah (*low risk*) atau risiko tinggi (*high risk*). Penilaian tingkat risiko pada Pabrik karboksimetil selulosa (CMC) dilakukan berdasarkan beberapa parameter teknis dan operasional yang berkaitan dengan karakteristik bahan baku, kondisi proses, penggunaan utilitas, serta potensi bahaya selama kegiatan produksi berlangsung. Evaluasi tersebut mengacu pada parameter-parameter penilaian risiko yang disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 6. 14 Analisis Risiko Pabrik

No.	Parameter Risiko	Deskripsi	Risk	
			Low	High
1.	Kondisi Operasi	Suhu operasi paling tinggi = 131°C		✓
		Tekanan = 1 atm	✓	
2.	Bahan baku yang digunakan			
	Selulosa Powder	Toksisitas = tidak toksik	✓	
		<i>Explosion limits</i> = tidak mudah meledak	✓	
		<i>Flammability</i> = mudah terbakar dalam bentuk debu		✓
		Stabilitas = stabil	✓	
	Natrium Hidroksida (NaOH)	Toksisitas = korosif		✓
		<i>Explosion limits</i> = tidak mudah meledak	✓	
		<i>Flammability</i> = tidak mudah terbakar	✓	
		Stabilitas = stabil	✓	
	Sodium Monokloroasetat (SMCA)	Toksisitas = berbahaya/iritan		✓
		<i>Explosion limits</i> = debu dapat terbakar		✓
		<i>Flammability</i> = dapat terbakar		✓
		Stabilitas = stabil pada kondisi normal	✓	
	Aseton	Toksisitas = rendah – sedang	✓	
		<i>Explosion limits</i> = 2,6 – 12,8 %		✓
		<i>Flammability</i> = sangat mudah terbakar		✓
		Stabilitas = stabil	✓	
	Air	Toksisitas = tidak toksik	✓	
		<i>Explosion limits</i> = tidak mudah meledak	✓	
		<i>Flammability</i> = tidak mudah terbakar	✓	

		Stabilitas = stabil	✓	
	Sifat produk yang dihasilkan			
	Karboksimetil Selulosa (CMC)	Toksisitas = rendah	✓	
		<i>Explosion limits</i> = debu dapat terbakar		✓
		<i>Flammability</i> = dapat terbakar dalam bentuk serbuk		✓
		Stabilitas = stabil	✓	
	Alkali Selulosa	Toksisitas = rendah	✓	
		<i>Explosion limits</i> = debu dapat terbakar		✓
		<i>Flammability</i> = dapat terbakar dalam bentuk padatan kering		✓
		Stabilitas = reaktif terhadap asam dan kelembapan tinggi		✓
	Natrium Klorida (NaCl)	Toksisitas = rendah	✓	
		<i>Flammability</i> = tidak mudah terbakar	✓	
		Stabilitas = stabil	✓	
	Asam Glikolat	Toksisitas = iritan		✓
		<i>Flammability</i> = dapat terbakar		✓
		Stabilitas = stabil	✓	
3.	Logistik dan Transportasi			
		Transportasi bahan kimia seperti Natrium Hidroksida (NaOH), Sodium Monokloroasetat (SMCA), dan Aseton memerlukan prosedur penanganan khusus karena bersifat korosif, iritan, dan mudah terbakar. Pengangkutan dilakukan menggunakan tangki atau kontainer khusus yang memenuhi standar keselamatan dan pelabelan bahan kimia berbahaya.		✓
4.	Lingkungan & K3			
		Pengoperasian pabrik harus memenuhi ketentuan lingkungan dan keselamatan kerja sesuai regulasi pemerintah terkait pengelolaan limbah cair, emisi udara, dan keselamatan proses industri kimia. Parameter limbah cair yang		✓

		diperhatikan meliputi suhu maksimum 40°C, Total <i>Suspended Solid</i> (TSS), Total <i>Dissolved Solid</i> (TDS), dan pH limbah dalam rentang yang diizinkan. Selain itu, penggunaan bahan kimia korosif dan mudah terbakar memerlukan penerapan sistem K3 yang ketat untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja.		
5.	Keberadaan Pabrik			
		Pabrik Karboksimetil Selulosa (CMC) telah banyak dikembangkan di berbagai negara sebagai industri turunan selulosa dengan aplikasi luas pada industri pangan, farmasi, kosmetik, dan minyak.	✓	
Total			22	17

Berdasarkan parameter diatas dapat disimpulkan perancangan pabrik karboksimetil selulosa memiliki risiko yang rendah atau disebut *low risk*. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar aspek proses tergolong aman.

6.6 Analisis Kelayakan

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan untuk menilai potensi keuntungan yang dapat diperoleh dari operasional pabrik karboksimetil selulosa (CMC) serta menentukan tingkat kelayakan pendirian pabrik dari aspek finansial. Melalui analisis ini, dapat diketahui apakah pabrik yang dirancang memiliki prospek yang menguntungkan dan layak untuk direalisasikan secara ekonomi. Hasil evaluasi tersebut juga digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan investasi dengan mempertimbangkan berbagai parameter ekonomi yang berkaitan dengan biaya, keuntungan, dan pengembalian modal. Beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan kelayakan ekonomi suatu pabrik diantaranya:

6.6.1 Return On Investment (ROI)

Return on Investment (ROI) merupakan parameter ekonomi yang digunakan untuk menunjukkan tingkat keuntungan tahunan yang diperoleh terhadap total investasi yang telah ditanamkan, sekaligus menggambarkan kemampuan operasional pabrik dalam mengembalikan modal tetap yang digunakan. ROI menjadi salah satu indikator utama dalam menilai kelayakan ekonomi dan profitabilitas suatu proyek industri. Semakin tinggi nilai ROI yang diperoleh, maka semakin baik tingkat pengembalian investasi dari pabrik tersebut. Menurut Aries dan Newton (1955), nilai minimum ROI sebelum pajak untuk industri kimia dengan tingkat risiko tinggi adalah sebesar 44%, sedangkan untuk industri dengan tingkat

risiko rendah sebesar 11%. Keuntungan maupun kerugian yang diperoleh dari suatu investasi mencerminkan kinerja finansial perusahaan dan dapat dinyatakan dalam bentuk laba, rugi, maupun tingkat pengembalian modal. Persamaan untuk menghitung persen *return of investment* yaitu sebagai berikut:

$$\text{ROI \%} = \frac{\text{Laba Tahunan}}{\text{Fixed Capital Investment}} \times 100\% \quad (6.4)$$

a. ROI Sebelum Pajak

$$\text{ROI b} = 16,14\%$$

b. ROI Setelah Pajak

$$\text{ROI a} = 12,59\%$$

6.6.2 Pay Out Time (POT)

Pay out time adalah lama waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang dicapai. Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan risiko tinggi maksimal adalah 2 tahun, sedangkan pada pabrik dengan risiko rendah mempunyai nilai POT maksimal 5 tahun (Aries dan Newton, 1955). Persamaan yang digunakan untuk menghitung POT adalah:

$$\text{POT} = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi}} \quad (6.5)$$

a. POT Sebelum Pajak

$$\text{POT b} = 4,14 \text{ tahun}$$

b. POT Setelah Pajak

$$\text{POT a} = 4,86 \text{ tahun}$$

6.6.3 Break Even Point (BEP)

Break Even Point adalah titik balik dimana pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Pada kondisi ini kapasitas produksi pada saat penjualan sama dengan total cost. Suatu pabrik akan mengalami kerugian apabila beroperasi dibawah nilai BEP, dan akan mengalami keuntungan apabila beroperasi diatas nilai BEP. Nilai BEP pada umumnya memiliki nilai kisaran 40-60% (Aries Newton, 1955). Persamaan yang digunakan untuk menghitung BEP adalah sebagai berikut:

$$BEP = \frac{F_a + 0,3R_a}{S_a - V_a - 0,7R_a} \times 100\% \quad (6.6)$$

Keterangan:

F_a : *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada kapasitas produksi maksimum

R_a : *Annual Regulated Expenses* pada kapasitas produksi maksimum

V_a : *Annual Variable Cost* pada kapasitas produksi maksimum

S_a : *Annual Sales Value* pada kapasitas produksi maksimum

Tabel 6. 15 *Annual Fixed Manufacturing Cost* (F_a)

No.	Type of Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	<i>Depreciation</i>	24.884.800.883,12	\$1.406.874,77
2.	<i>Property Taxes</i>	3.110.600.110,39	\$175.859,35
3.	<i>Insurance</i>	3.110.600.110,39	\$175.859,35
Total Annual Fixed Manufacturing Cost		31.106.001.103,90	\$1.758.593,46

Tabel 6. 16 *Annual Variabel Cost (Va)*

No.	Type of Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	Raw Material	65.549.785.164,58	\$3.705.890,16
2.	Packaging And Shipping	1.335.720.925,09	\$75.515,66
3.	Utilities	13.436.882.270,41	\$759.660,92
4.	Royalties And Patents	2.671.441.850,19	\$151.031,31
Total Annual Variabel Cost		82.993.830.210,27	\$4.692.098,04

Tabel 6. 17 *Annual Regulated Expenses (Ra)*

No.	Type of Cost	Harga (Rp)	Harga (US \$)
1.	General Expense	69.421.348.926,54	\$3.924.770,97
2.	Operating Labor (Tenaga Kerja/Pekerja Operasi)	12.807.600.000,00	\$724.084,12
3.	Direct Supervisory And Clerical Labor	1.280.760.000,00	\$72.408,41
4.	Maintenance And Repair (Perawatan Dan Perbaikan)	6.221.200.220,78	\$351.718,69
5.	Plant Supplies	933.180.033,12	\$52.757,80
6.	Plant Overhead	8.965.320.000,00	\$506.858,89
7.	Laboratory	1.280.760.000,00	\$72.408,41
8.	Payroll Overhead	1.921.140.000,00	\$108.612,62
Total Annual Regulated Expenses		102.831.309.180,44	\$5.813.619,92

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

Break Even Point (BEP) = 55,23%

Terdapat tujuan utama perusahaan yaitu mendapatkan keuntungan atau laba secara maksimal bisa dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

- a. Menekan sebisa mungkin biaya produksi atau biaya operasional sekecil-kecilnya, serendah-rendahnya tetapi tingkat harga, kualitas, maupun kuantitasnya tepat dipertahankan sebisanya.
- b. Penentuan harga jual sedemikian rupa menyesuaikan tingkat keuntungan yang diinginkan/dikehendaki.

- c. Volume kegiatan ditingkatkan dengan semaksimal mungkin.

6.6.4 Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point merupakan kondisi di mana kegiatan produksi harus dihentikan. Penghentian ini dapat disebabkan oleh biaya variabel yang terlalu besar atau keputusan manajemen karena aktivitas produksi dianggap tidak lagi menguntungkan. Dengan kata lain, biaya operasional yang dibutuhkan untuk tetap menjalankan pabrik lebih tinggi dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan jika pabrik dihentikan dan hanya membayar biaya tetap. Nilai SDP tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$SDP = \frac{0,3R_a}{S_a - V_a - 0,7R_a} \times 100\% \quad (6.7)$$

Berdasarkan persamaan maka persentase SDP pabrik karboksimetil selulosa adalah sebesar 27,50%.

6.6.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)

Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) merupakan parameter ekonomi yang digunakan untuk memperkirakan tingkat keuntungan tahunan yang diperoleh dari suatu proyek dengan mempertimbangkan nilai waktu terhadap uang (*time value of money*). Dalam metode ini, investasi yang ditanamkan diasumsikan kembali secara bertahap selama umur operasional proyek, bukan sekaligus pada setiap akhir tahun. Oleh karena itu, DCFRR banyak digunakan dalam evaluasi kelayakan proyek jangka panjang, termasuk pada industri kimia, karena mampu memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap tingkat pengembalian investasi. Secara umum, suatu proyek dinyatakan layak secara ekonomi apabila nilai DCFRR yang diperoleh melebihi batas minimum yang ditetapkan, yaitu sebesar 1,5 kali

suku bunga bank. Adapun perhitungan DCFRR dilakukan dengan menentukan tingkat diskonto (*discount rate*) atau nilai i yang memenuhi persamaan berikut:

$$(FC + WC)(1 + i)^n = CF[(1 + i)^{n-1} + (1 + i)^{n-2} + \dots + (1 + i) + 1] \quad (6.8)$$

Keterangan:

n	: Umur Pabrik	SV	: <i>Salvage Value</i> (10% FCI)
WC	: <i>Working Capital</i>	FCI	: <i>Fixed Capital Investment</i>
CF	: <i>Cash Flow</i> Setelah Pajak	i	: <i>Interest/Discounted Cash Flow</i>

Dimana *Cash Flow* atau CF dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$CF = \text{Annual Profit After Tax} + \text{Depreciation} + \text{Finance} \quad (6.9)$$

Sebagai perhitungan digunakan data sebagai berikut:

$$FCI = \text{Rp}311.068.992.538,85$$

$$WC = \text{Rp}546.318.376.500,22$$

$$SV = \text{Rp}31.106.899.253,88$$

$$CF = \text{Rp}106.924.581.538,85$$

$$n = 10 \text{ tahun}$$

Berdasarkan situs resmi Bank Indonesia, diketahui bahwa suku bunga deposito saat ini adalah sebesar 4,75%. Sehingga diperoleh nilai DCFRR menggunakan *trial & error* sebagai berikut:

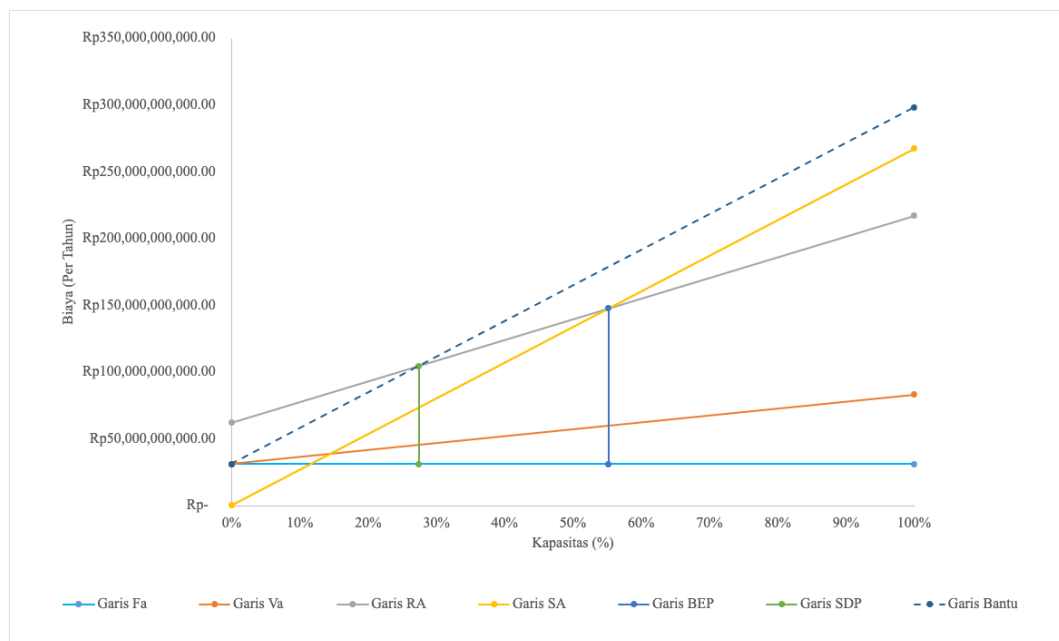
$$\text{DCFRR} = 12,12\%$$

$$\text{Bunga bank Indonesia pada 2026} = 4,75\%$$

$$1,5 \times \text{dari bunga bank Indonesia} = 7,13\%$$

6.7 Hasil Analisis

Setelah menghitung seluruh parameter kelayakan seperti ROI, POT, BEP, SDP, dan DCFRR, hasilnya dirangkum dalam grafik hubungan antara kapasitas produksi (%) dan biaya tahunan (miliar rupiah). Grafik evaluasi ekonomi ini memuat komponen penting seperti biaya tetap (FA), biaya variabel (VA), total biaya (RA), serta pendapatan dari penjualan (SA). Selain itu, grafik ini juga memetakan posisi *Break Even Point* (BEP) dan *Shut Down Point* (SDP) secara jelas. Lewat visualisasi ini, dapat dilihat dengan mudah sejauh mana pabrik dapat beroperasi dengan aman dari segi keuangan.



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

Garis pendapatan (SA) meningkat secara linier dari titik nol hingga mencapai Rp267.144.185.018,54 pada kapasitas penuh 100%, mencerminkan bahwa harga jual produk diasumsikan konstan pada berbagai tingkat produksi. Biaya tetap (FA) ditunjukkan sebagai garis horizontal sebesar

Rp31.106.001.103,90, menandakan bahwa nilai ini tidak berubah terlepas dari tingkat aktivitas produksi. Sementara itu, biaya variabel (VA) meningkat secara proporsional terhadap kapasitas, dari nol hingga Rp82.993.830.210,27. Total biaya produksi, sebagai penjumlahan FA, VA dan RA, naik hingga Rp216.931.140.964,61 pada kapasitas maksimal.

Break Even Point (BEP) terjadi pada kapasitas 55,23%, dengan total pendapatan dan biaya masing-masing sebesar Rp147.555.082.681,52. Pada titik ini, besar biaya produksi sama dengan besar biaya penjualan pada kapasitas ini pabrik tidak mengalami laba maupun rugi. Posisi BEP yang berada didalam range 40 - 60% menunjukkan efisiensi yang cukup baik karena pabrik tidak perlu beroperasi secara penuh untuk mencapai titik impas. Adapun *Shut Down Point* (SDP) berada pada kapasitas 27,50% dimana kerugian pada titik ini tidak menutupi biaya modal.

Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan bahwa pabrik memiliki prospek ekonomi yang menjanjikan. Jarak yang signifikan antara pendapatan dan total biaya pada kapasitas tinggi memberikan potensi keuntungan besar, sementara posisi BEP yang moderat serta SDP yang relatif rendah menunjukkan bahwa pabrik memiliki ketahanan yang baik terhadap dinamika pasar dan permintaan yang fluktuatif.

Tabel 6. 18 Kesimpulan Evaluasi Ekonomi

Kriteria	Terhitung	Syarat	Keterangan
Profit	Sebelum pajak : Rp50.213.044.523,93 Setelah pajak : Rp39.166.174.728,66		
ROI	Sebelum pajak : 16,14% Setelah pajak : 12,59%	ROI <i>before tax</i> > 44% = <i>High Risk</i> < 44% = <i>Low Risk</i>	<i>Low Risk</i>
POT	Sebelum pajak : 4,14 tahun Setelah pajak : 4,86 tahun	POT <i>before taxes</i> 5 tahun $\geq$ POT $\geq$ 2 tahun = <i>Low Risk</i> POT < 2 tahun = <i>High Risk</i>	<i>Low Risk</i>
BEP	55,23%	Range 40 - 60%	Memenuhi
SDP	27,50%	> 20%	Memenuhi
DCFRR	12,12%	> 1,5 bunga bank = 7,13%	Memenuhi

Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi yang telah dilakukan, pabrik karboksimetil selulosa berbasis selulosa dengan kapasitas produksi 4.000 ton/tahun dapat dinyatakan layak untuk dikaji lebih lanjut dari aspek teknis maupun ekonomis. Hasil perhitungan parameter kelayakan ekonomi, seperti *Return on Investment* (ROI), *Pay Out Time* (POT), *Break Even Point* (BEP), *Shut Down Point* (SDP), dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR), menunjukkan nilai yang memenuhi kriteria kelayakan investasi untuk industri kimia. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proyek pabrik memiliki prospek yang baik dalam menghasilkan keuntungan, mampu mengembalikan modal investasi dalam jangka waktu yang wajar, serta memiliki tingkat risiko yang masih dapat dikelola. Dengan demikian, pabrik karboksimetil selulosa berkapasitas 4.000 ton/tahun ini memiliki potensi yang menjanjikan untuk dikembangkan dan layak untuk dikaji lebih lanjut pada tahap implementasi dan investasi.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan evaluasi yang telah dilakukan terhadap pabrik karboksimetil selulosa (CMC) dari selulosa dengan kapasitas 4.000 ton/tahun, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik karboksimetil selulosa (CMC) dari selulosa dengan kapasitas 4.000 ton/tahun dirancang sebagai upaya pengembangan industri hilir berbasis selulosa yang memiliki nilai tambah tinggi dan daya saing global. Produksi karboksimetil selulosa diarahkan untuk memenuhi kebutuhan pasar internasional melalui kegiatan ekspor, seiring dengan kondisi kebutuhan domestik yang relatif telah terpenuhi oleh industri yang ada. Selain meningkatkan nilai ekonomis bahan baku selulosa melalui proses hilirisasi, keberadaan pabrik ini diharapkan dapat memperkuat kontribusi industri kimia nasional di pasar global, meningkatkan devisa negara, menciptakan lapangan kerja, mendorong pertumbuhan ekonomi daerah, serta memberikan manfaat ekonomi yang berkelanjutan bagi masyarakat dan sektor industri terkait.
2. Prarancangan pabrik karboksimetil selulosa dari selulosa ini dikategorikan sebagai pabrik berisiko rendah (*low risk*) berdasarkan kajian proses, kondisi operasi, karakteristik bahan baku dan produk, serta ketentuan yang berlaku dari pemerintah.

3. Pabrik karboksimetil selulosa didirikan di daerah Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Banten dengan luas tanah keseluruhan 46.530 m² dan jumlah karyawan 119 orang. Dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku yang dekat dengan produsennya dan pelabuhan internasional, kedekatan dengan pasar industri pengguna karboksimetil selulosa, serta tersedianya tenaga kerja berkualitas dengan biaya yang relatif kompetitif
4. Berdasarkan evaluasi dari aspek ekonomi, pabrik ini dinilai menarik dan layak untuk dipertimbangkan serta dianalisis lebih mendalam dengan memperhatikan beberapa indikator berikut:
 - a. *Return On Investment* (ROI), nilai minimum ROI untuk pabrik dengan risiko rendah yaitu:
 - 1) ROI sebelum pajak = 16,14 %
 - 2) ROI setelah pajak = 12,59 %
 - b. *Pay Out Time*, nilai maksimal POT untuk pabrik dengan risiko rendah yaitu 5 tahun.
 - 1) POT sebelum pajak = 4,14 Tahun
 - 2) POT setelah pajak = 4,86 Tahun
 - c. *Break Even Point* = 55,23 %, dengan nilai BEP berkisar antara 40 – 60%
 - d. *Shut Down Point* = 27,50%, dengan nilai SDP berada diatas 20%
 - e. *Discounted Cash Flow Rate* = 12,12%, dengan nilai DCFR harus diatas 1,5 kali dari suku bunga bank.

5. Berdasarkan keseluruhan tinjauan, meliputi ketersediaan bahan baku, kondisi operasi proses, dan hasil evaluasi ekonomi, dapat disimpulkan bahwa pabrik karboksimetil selulosa dari selulosa berkapasitas 4.000 ton/tahun layak untuk dikaji lebih lanjut.

7.2 Saran

Perancangan pabrik karboksimetil selulosa (CMC) dari selulosa dengan kapasitas 4.000 ton/tahun memerlukan kajian yang komprehensif terhadap aspek teknis, ekonomis, keselamatan, dan lingkungan guna menghasilkan rancangan pabrik yang layak, efisien, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan lebih lanjut perlu dilakukan untuk memperoleh data proses yang lebih akurat, khususnya terkait optimasi kondisi operasi pada tahap alkalisasi, eterifikasi, pemurnian, dan pengeringan guna meningkatkan kualitas produk serta efisiensi penggunaan bahan baku dan bahan kimia pendukung. Selain itu, pemilihan peralatan proses, sistem utilitas, dan teknologi produksi perlu dikaji lebih mendalam agar diperoleh rancangan yang mampu memberikan kinerja operasional yang optimal serta keuntungan ekonomi yang lebih tinggi. Aspek keselamatan proses dan manajemen risiko juga perlu mendapat perhatian khusus melalui penerapan sistem pengendalian yang memadai untuk meminimalkan potensi kecelakaan kerja dan menjamin keandalan operasi pabrik. Di samping itu, peningkatan efisiensi energi, pemanfaatan kembali sumber daya, serta pengelolaan limbah yang efektif perlu terus dikembangkan guna mengurangi dampak lingkungan dan mendukung penerapan prinsip industri berkelanjutan. Dengan adanya pengembangan pada berbagai aspek tersebut, diharapkan rancangan pabrik

CMC yang dihasilkan dapat memiliki tingkat kelayakan teknis dan ekonomis yang lebih baik serta mampu bersaing di industri kimia nasional maupun internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiasa, I., Suarantalla, R., Rafi, M. S., & Hermanto, K. (2020). Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas Pabrik Di CV. Apindo Brother Sukses Menggunakan Metode *Systematic Layout Planning* (SLP). *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 19(2), 151-158.
- Badan Pusat Statistik. (2025). Data Impor dan Ekspor Asam Nitrat. <https://www.bps.go.id/>, diakses pada tanggal 20 Oktober 2025.
- Boruvkova, K., & Wiener, J. (2011). *Water absorption in carboxymethyl cellulose. AUTEX Research Journal*, 11(4), 110-113.
- Brown, G. G. (1950). *Unit Operations*. John Wiley & Sons, Inc.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (2005). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design* (3rd ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1983). *Chemical engineering* (Vol. 6). Pergamon Press.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Sinnott, R. K. (1999). *Chemical engineering design* (Vol. 6, 3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Couper, J. R., Penney, W. R., & Fair, J. R. (2012). *Chemical Process Equipment: Selection and Design* (3 ed.). Butterworth-Heinemann, Massachusetts.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations* (3rd ed.). Pretince-Hall International, Inc.
- Hariani, R., & Fatmayati, F. (2024). Pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) Dari Batang Kelapa Sawit. *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, 7(1), 498-508.

- Howan, D. H. O. (2019). Kajian kalor reaksi tembaga sulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) melalui prototipe kalorimeter. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(1), 12-15.
- Kern, D.Q.(1950). *Process Heat Transfer*. Mc. Graw-Hill International Book Company Inc. New York.
- Loelovich, M. (2023). *Thermochemistry of alkalization and etherification of cellulose*. *World J. Adv. Res. Rev*, 20, 1166-1174.
- Mc Cabe, W. L. (1976). *Unit Operation of Chemical Engineering*, 3rd ed. . Singapore: Mc Graw Hill, Kogakusha , Ltd
- Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). *Obtaining a Pac From the Cellulose of Plants of Sunflower, Safflower and Waste From the Textile Industry*. *European Journal of Humanities and Educational Advancements*, 2(1), 13-15.
- Panyathip, R., Witthayapak, M., Thuephloi, P., Sukunta, J., Thipchai, P., Thanakkasaranee, S., & Rachtanapun, P. (2025). *Characterization of corn husks carboxymethyl cellulose formation using Raman spectroscopy*. *Industrial Crops and Products*, 228, 120887.
- Perry, R. (2000). *Perry's Chemical Engineer's Handbook* 7ed. New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc
- Perry, R. (2008). *Perry's Chemical Engineer's Handbook* 8 ed. New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Peters, M., Timmerhause, K., and West, R. (2003). *Plant Design and Economics For Chemical Engineers*. Mc Graw Hill Companies Inc.

- Rahman, M. S., Hasan, M. S., Nitai, A. S., Nam, S., Karmakar, A. K., Ahsan, M. S., & Ahmed, M. B. (2021). *Recent developments of carboxymethyl cellulose. Polymers*, 13(8), 1345.
- Ramakrishnan, R., Kim, J. T., Roy, S., & Jayakumar, A. (2024). *Recent advances in carboxymethyl cellulose-based active and intelligent packaging materials: A comprehensive review. International Journal of Biological Macromolecules*, 259, 129194.
- Stem, B. (2020). PENGARUH KONSENTRASI ISOPROPANOL TERHADAP KARAKTERISTIK KARBOKSIMETIL SELULOSA DARI BATANG PISANG. *Jurnal Kelitbangan*, 8(3), 253-256.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann.
- Walas, S. M., Penney, W. R., Fair, J. R., & Couper, J. R. (2012). *Chemical Process Equipment Selection and Design* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Yaws, Carl. L. 1999, “*Chemical Properties Handbook*”, McGraw-Hill, New York.
- Yuangsawad, R., Pramanusai, T., & Boontiangtrong, M. (2023). *Synthesis and properties of carboxymethyl cellulose blend films derived from rice straw. Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, 13(37), 95–108.
- Zainol, M. M., Ab Rasid, N. S., Asmadi, M., & Amin, N. A. S. (2021). *Carboxymethyl cellulose synthesis from treated oil palm empty fruit bunch using ionic liquid and hydrogen peroxide. ASEAN Engineering Journal*, 11(4), 80-88.

LAMPIRAN A.
PERANCANGAN REAKTOR

1. Reaktor Alkalisasi (R-01)

Kode	: R-01
Fungsi	: Tempat terjadinya reaksi antara tepung selulosa dan natrium hidroksida menggunakan pelarut aseton menjadi alkali selulosa dan air.
Jenis	: Reaktor Tangki Alir Berpengaduk (RATB) dengan jaket pendingin.
Jumlah	: 1 unit
Mode Operasi	: Kontinyu
Bahan	: <i>Stainless Steel type 316</i>
Bentuk	: Tangki Silinder
Kondisi Operasi	: T = 30 °C
	P = 1 atm
	Jenis Reaksi = Eksotermis
	Konversi (X) = 88% atau 0,88
Reaksi	: $C_6H_{10}O_5 + NaOH \rightarrow C_6H_9O_5Na + H_2O$

1. Neraca Massa dan Densitas Reaktor

Komponen yang masuk dalam reaktor

Tabel A.1 Neraca Massa Komponen Reaktor Alkalisasi

No.	Komponen	Input (kg/jam)				Output (kg/jam)
		Arus 3	Arus 6	Arus 7	Arus 20	Arus 8
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	-	-	284,220	-	34,106
2.	NaOH	68,468	-	-	1,710	8,421
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	-	-	-	-	284,080
4.	H ₂ O	68,468	206,589	17,216	516,462	836,526
5.	C ₃ H ₆ O	-	482,042	-	4.338,379	4.820,421
6.	ClCH ₂ COONa	-	-	-	2,321	2,321
Subtotal (Total setiap arus)		136,936	688,632	301,436	4.858,872	5.985,876
Total		5.985,876				5.985,876

Tabel A.2 Densitas Campuran Reaktor Alkalisasi

Komponen	BM	Massa (kg/jam)	Rho (kg/m ³)	Fv (kg/jam)	Fraksi Massa	Rho Campuran (kg/m ³)
C ₆ H ₁₀ O ₅	162	284,2203	1.090,0000	0,2608	0,0475	51,7552
NaOH	40	70,1778	1.909,2966	0,0368	0,0117	22,3844
C ₆ H ₉ O ₅ Na	184	-	-	-	-	-
H ₂ O	18	808,7354	1.023,0130	0,7905	0,1351	138,2165
ClCH ₂ COONa	116	2,3211	1.411,0000	0,0016	0,0004	0,5471
C ₃ H ₆ O	58	4.820,4211	737,3521	6,5375	0,8053	593,7891
Total		5.985,8756	6.170,6617	7,6272	1,0000	806,6923

2. Design Equation

a. Menghitung Kecepatan Alir Volumetrik

$$F_V = \frac{\text{Massa Campuran}}{\text{Rho Campuran}}$$

$$F_V = \frac{5.985,8756 \text{ kg/jam}}{806,6923 \text{ kg/m}^3}$$

$$F_V = 7,6272 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

b. Menghitung Konsentrasi

$$C_{ao} = \frac{n_a}{F_V}$$

$$C_{ao} = \frac{1,7544 \text{ kmol/jam}}{7,6272 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$C_{ao} = 0,2300 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan mula-mula C_{ao} : 0,2300 kmol/m³, atau 230,0258 mol/m³.

$$C_{bo} = \frac{n_b}{F_V}$$

$$C_{bo} = \frac{1,7544 \text{ kmol/jam}}{7,6272 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$C_{bo} = 0,2300 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan mula-mula C_{bo} : 0,2300 kmol/m³, atau 230,0258 mol/m³.

$$C_a = C_{ao} \times (1 - X)$$

$$C_a = 0,2300 \text{ kmol/m}^3 \times (1 - 0,88)$$

$$C_a = 0,0276 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan konsentrasi C_a : 0,0276 kmol/m³, atau 27,6031 mol/m³.

$$C_b = C_{bo} - (C_{ao} \times X)$$

$$C_b = 0,2300 \text{ kmol/m}^3 - (0,2300 \text{ kmol/m}^3 - 0,88)$$

$$C_b = 0,0276 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan konsentrasi C_b : 0,0276 kmol/m³, atau 27,6031 mol/m³.

c. Menentukan Kinetika Reaksi

Reaksi orde 1

Reaksi *irreversible*

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

Keterangan:

k = Konstanta kecepatan reaksi

T = Suhu reaksi (K)

Ea = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (1/min)

R = Konstanta Gas *Ideal*

Tabel A.3 Kinetika Reaksi Alkalisasi

Ea	22.091,52	J/mol
R	8,314	J/mol.K
T	30	°C
	303	K
A	134,2898	1/min
k	0,0209	1/min
	1,2522	1/jam

d. Menghitung Waktu Tinggal

$$\tau = \frac{X_n}{k \times (1 - X_n)}$$

$$\tau = \frac{88\%}{1,2522 \text{ 1/jam} \times (1 - 88\%)}$$

$$\tau = 5,8565 \text{ jam}$$

e. Menentukan Volume Reaktor

$$V = F_V \times \tau$$

$$V = 7,6272 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 5,8565 \text{ jam}$$

$$V = 44,6683 \text{ m}^3$$

f. Menghitung Dimensi Reaktor

Perancangan reaktor dibuat dengan faktor keamanan sebesar 20%, sehingga volume reaktor menjadi:

$$\text{Volume Reaktor} = 1,2 \times 44,6683 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Reaktor} = 53,6020 \text{ m}^3$$

Reaktor berbentuk silinder vertikal terdiri dari dinding (*shell*) dan tutup atas serta bawah (*head*) yang berbentuk *torispherical*.

Ditetapkan:

D : H = 1 (Brownell,1959)

D = Diameter reaktor

H = Tinggi reaktor

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad \text{nilai } D = H, \text{ perbandingan } 1:1$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 V_{shell}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 53,6020 \text{ m}^3}{3,14}}$$

D = 4,0873 m, atau 160,9176 in, atau 13,4098 ft.

H = 4,0873 m, atau 160,9176 in, atau 13,4098 ft.

$$V_{dish} = 0,000049D_s^3$$

$$V_{dish} = 0,000049 \times 160,9176 \text{ in}^3$$

$$V_{dish} = 204,1770 \text{ in}^3$$

$V_{dish} = 204,1770 \text{ in}^3$, atau $0,1182 \text{ ft}^3$.

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{sf}{144}, \text{ dipilih } sf = 2 \text{ in}$$

$$V_{sf} = \frac{3,14}{4} 160,9176 \text{ in}^2 \frac{2 \text{ in}}{144}$$

$$V_{sf} = 282,3218 \text{ in}^3$$

$V_{sf} = 282,3218 \text{ in}^3$, atau $0,1634 \text{ ft}^3$, atau $0,0046 \text{ m}^3$.

$$V_{head} = 2(V_{dish} + V_{sf})$$

$$V_{head} = 2(0,1182 \text{ ft}^3 + 0,1634 \text{ ft}^3)$$

$$V_{head} = 0,5631 \text{ ft}^3$$

$V_{head} = 0,5631 \text{ ft}^3$, atau $0,0159 \text{ m}^3$.

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

Dikarenakan reaktor yang digunakan berbentuk silinder tegak, maka mencari volumenya menggunakan total volume *over design* + volume tutup. Dimana volume tutup adalah 2 kali volume *head*.

$$V_{reaktor} = V_{shell} + (2 \times V_{head})$$

$$V_{reaktor} = 53,6020 \text{ m}^3 + (2 \times 0,0159 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{reaktor}} = 53,6339 \text{ m}^3$$

Volume reaktor = 53,6339 m³.

$$V_{\text{bottom}} = 0,5V_{\text{head}}$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,5 \times 0,5631 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,2815 \text{ ft}^3$$

$V_{\text{bottom}} = 0,2815 \text{ ft}^3$, atau 0,0080 m³.

g. Menghitung Tinggi Cairan dalam Reaktor

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

$$V_{\text{cairan}} = 53,6020 \text{ m}^3 - 0,0080 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cairan}} = 53,5940 \text{ m}^3$$

Diperoleh V_{cairan} sebesar 53,5940 m³.

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

$$h_{\text{cairan}} = \frac{4 \times 53,5940 \text{ m}^3}{3,14 \times (4,0873 \text{ m})^2}$$

$$h_{\text{cairan}} = 4,086697 \text{ m}$$

Diperoleh h_{cairan} sebesar 4,086697 m.

h. Menghitung Tekanan Desain

Tekanan reaksi = 1 atm atau 14,6959 psia

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho gh}{gc}$$

Dimana, $g/gc = 1$

$$P_{\text{hidrostatik}} = 806,6923 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,086697 \text{ m}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = 3.296,7073 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Diperoleh $P_{\text{hidrostatik}}$ sebesar 3.296,7073 kg/m², atau 4,6890 psi, 0,3191 atm.

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

$$P_{\text{operasi}} = 4,6890 \text{ psi} + 14,6959 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = 19,3850 \text{ psi}$$

Diperoleh P_{operasi} sebesar 19,3850 psi, atau 1,3191 atm.

Tekanan *over design* 20%.

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times 19,3850 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 23,2620 \text{ psi}$$

Diperoleh P_{design} sebesar 23,2620 psi, atau 1,5829 atm.

i. Menghitung Tebal Dinding *Shell* atau Reaktor

Dalam menghitung ketebalan dinding *shell* atau reaktor menggunakan persamaan 14.34, buku Brownell & Young, 1959:275:

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

Keterangan:

T_s = Tebal *shell* (in)

r = Jari-jari *shell* = $D/2 = 80,4588 \text{ in}$

f = *Allowable stress* = 18.750 psi

C = *Corrosion allowance* = 0,125 in

P = Tekanan *design* = 23,2620 psi

E = Efisiensi sambungan = 80%

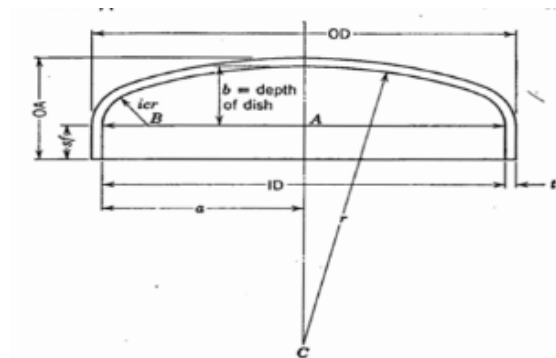
Maka nilai tebal *shell* adalah:

$$t_s = \frac{(23,2620 \text{ psi} \times 80,4588 \text{ in})}{(18.750 \text{ psi} \times 0,80) - (0,6 \times 23,2620 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_s = 0,2499 \text{ in}$$

Kemudian diambil t_s standar = $1/4 = 0,25 \text{ in}$ (Brownell & Young).

j. Menghitung *Head* Reaktor



Gambar A. 1 *Head* Reaktor

Keterangan:

t = Tebal *head*, in

icr = *Inside corner radius*, in

r = *Radius of dish*, in

OD = *Outside diameter*, in

ID = *Inside diameter*, in

B = *Depth of dish*, in

OA = *Overall dimension*, in

Sf = *Straight flange*

Bentuk *Head* : *Torispherical Head*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel SA-240 Grade M Type 316*

Alasan pemilihan bentuk *head torispherical* adalah:

- Digunakan untuk tangki dalam rentang tekanan 15-200 Psig (untuk tekanan operasi hingga 15 bar ataupun dapat digunakan P operasi *atmospheric*)
- Harga lebih ekonomis dan lebih mudah dibuat
- Memiliki *knuckle* radius yang membantu mendistribusikan tegangan disekitar sambungan head dan bagian silinder

1) Menentukan *icr* dan *rc*

Dipilih nilai OD 168 in untuk menentukan nilai *icr* dan *rc* pada tabel 5.7 Brownell & Young.

$$icr = 10,1250 \text{ in}$$

$$rc = 144 \text{ in}$$

2) Menentukan tebal *head*

$$th \text{ min} = \frac{P \times r \times W}{(2 \times f \times E) - (0,2 \times P)} + C$$

Keterangan:

th = Tebal *head* (in)

w = Faktor intensifikasi *stress*

f = *Allowable stress* = 18.750 in

E = Efisiensi sambungan = 80%

C = *Corrosion allowance* = 0,125 in

P = Tekanan *design* = 23,2620 psi

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{144 \text{ in}}{10,1250 \text{ in}}} \right)$$

$$w = 1,6928$$

$$\begin{aligned} \text{th min} &= \frac{23,2620 \text{ psi} \times 80,4588 \text{ in} \times 1,6928}{(2 \times 18.750 \text{ in} \times 0,80) - (0,2 \times 23,2620 \text{ psi})} \\ &+ 0,125 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{th} = 0,2306 \text{ in}$$

Berdasarkan tabel 5.7 buku Brownell & Young, tebal *head* untuk ukuran 0,2306 in mendekati nilai standar 1/4 atau 0,25 in.

3) Menentukan tinggi *head*

Berdasarkan tabel 5.6 hal 88 Brownell & Young, dengan *th* 1/4 in, boleh menggunakan *sf* = 1,5 - 2,5 in (1 ½ - 2 ½).

Maka *sf* : 2 in.

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 + (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + sf$$

Gambar dimensi pada tutup reaktor

$$a = 83,7500 \text{ in}$$

$$b = 32,1882 \text{ in}$$

$$AB = 73,6250 \text{ in}$$

$$BC = 133,8750 \text{ in}$$

$$AC = 111,8118 \text{ in}$$

$$OA = 34,4382 \text{ in}$$

Didapatkan tinggi *head* (th) sebesar 34,4382 in, atau 0,8747 m.

k. Menghitung Tinggi Reaktor

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

$$h_{\text{reaktor}} = (2 \times 34,4382 \text{ in}) + 160,9176 \text{ in}$$

$$h_{\text{reaktor}} = 229,7941 \text{ in}$$

Diperoleh tinggi reaktor sebesar 229,7941 in, atau 5,8368 m, atau 19,1494 ft.

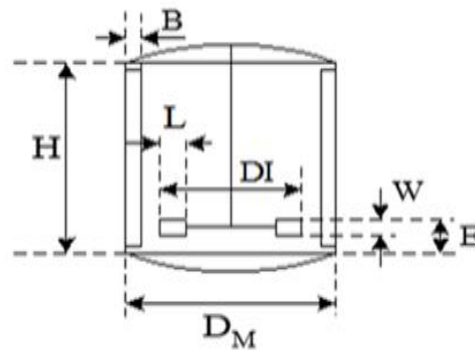
l. Menghitung Dimensi Pengaduk

Tabel A.4 Viskositas Campuran Reaktor Alkalisasi

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam	xi	μ miu (cP)	$\frac{\text{xi} \cdot \mu}{\text{miu}}$
C ₆ H ₁₀ O ₅	162	284,2203	1,7544	0,0475	23	1,0921
NaOH	40	70,1778	1,7544	0,0117	2.323,0952	27,2358
C ₆ H ₉ O ₅ Na	184	-	-	-	-	-
H ₂ O	18	808,7354	44,9297	0,1351	0,8177	0,1105
ClCH ₂ COONa	116	2,3211	0,0200	0,0004	5,1951	0,0020
C ₃ H ₆ O	58	4.820,4211	83,1107	0,8053	0,2981	0,2401
Total		5.985,8756	131,5694	1,0000	2.352,4060	28,6804

Viskositas campuran = 28,6804 cP atau 0,0287 Ns/m².

Dari data viskositas dan berdasarkan gambar 10.57 hal 472, Coulson digunakan pengaduk jenis *propeller (marine propeller with 3 blades)*. *Impeller* jenis ini sesuai untuk pengadukkan dengan viskositas dibawah 4.000 cp.



Gambar A. 2 Visualisasi *Impeller*/Pengaduk

Keterangan:

DM = Diameter pengaduk

Zi = Jarak pengaduk dari dasar tangki

E = Lebar *impeller*

B = Lebar *baffle*

L = Panjang *blade*

DI = Diameter batang penyangga

Offset 1 = Jarak *baffle* dari dasar tangki

Offset 2 = Jarak *baffle* dari permukaan cairan

Menggunakan ketentuan:

$$D_t/D_i = 3$$

$$Z_i/D_i = 2,7 - 3,9 = 2,7$$

$$Z_i/D_i = 0,75 - 1,3 = 1$$

$$w_b/D_i = 0,1$$

$$L/D_i = 0,25$$

Diperoleh hasil:

Di = Diameter pengaduk = 53,6392 in, atau 1,3624 m.

ZL = Tinggi cairan dalam reaktor = 144,8259 in, atau 3,6786 m.

wb = Lebar *baffle* = 5,3639 in, atau 0,1362 m.

Zi = Jarak pengaduk dari dasar = 53,6392 in, atau 1,3624 m.

L = Lebar pengaduk = 13,4098 in, atau 0,3406 m.

m. Menghitung *Spesific Gravity* (sg)

$$sg = \frac{\text{Densitas Cairan}}{\text{Densitas Air}}$$

$$sg = \frac{806,6923 \text{ kg/m}^3}{1.000 \text{ kg/m}^3}$$

$$sg = 0,8067$$

n. Menghitung *Water Equivalent Liquid High* (WELH)

$$\text{WELH} = \text{Tinggi Cairan} \times sg$$

$$\text{WELH} = 3,6786 \text{ m} \times 0,8067$$

$$\text{WELH} = 2,9675 \text{ m}$$

Diperoleh WELH sebesar 2,9675 m, atau 9,7358 ft.

o. Menghitung Jumlah Pengaduk

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{\text{WELH}}{D}$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{2,9675 \text{ m}}{4,0873 \text{ m}}$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = 0,7260$$

Berdasarkan perhitungan, diambil jumlah pengaduk sebanyak 1 buah.

p. Menghitung Kecepatan Pengaduk

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

$$N = \frac{600}{3,14 \times 4,4699 \text{ ft}} \sqrt{\frac{9,7358 \text{ ft}}{2 \times 4,4699 \text{ ft}}}$$

$$N = 44,6112 \text{ rpm} = 0,7435 \text{ rps}$$

Jenis motor: dipilih tipe *fixed speed belt* (paling ekonomis, mudah dalam pemasangan dan perbaikan)

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan pengaduk standar} &= 56 \text{ rpm} \\ &= 0,9333 \text{ rps} \end{aligned}$$

q. Menghitung Bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \times N \times D_i^2}{\mu}$$

$$Re = \frac{806,6923 \text{ kg/m}^3 \times 0,9333 \text{ rps} \times (4,4699 \text{ ft})^2}{0,0193 \text{ lb/ft.s}}$$

$$Re = 48.729,1174$$

r. Menghitung *Power* Pengaduk

$$P = \frac{N_p \times \rho \times N^3 \times D_i^5}{gc}$$

$$P = \frac{0,8 \times 806,6923 \text{ kg/m}^3 \times (0,9333 \text{ rps})^3 \times (4,4699 \text{ ft})^5}{32,2 \text{ ft.lbm/s}^2.\text{lb f}}$$

$$P = 1.815,2173 \text{ ft.lb/s} = 3,3004 \text{ Hp}$$

Efisiensi daya motor adalah 80%.

$$\text{Daya motor} = \frac{P}{\eta}$$

$$\text{Daya motor} = \frac{3,3004 \text{ Hp}}{80\%}$$

$$\text{Daya motor} = 4,1255 \text{ Hp}$$

$$\text{Dipilih standarisasi daya} = 5 \text{ Hp}$$

3. Neraca Panas

Tabel A.5 Neraca Panas Reaktor Alkalisasi

Komponen Energi	Masuk (kj/jam)	Keluar (kj/jam)
Q1	71.852,1090	-
Q2	-	71.322,0080
Q Reaksi	345.612,5737	-
Q Pendingin	-	346.142,6746
Total	417.464,6826	417.464,6826

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

4. Perhitungan Jaket Pendingin

a. Menghitung Kebutuhan Pendingin

Media pendingin yang digunakan adalah *Cooling Water* dengan suhu masuk 35°C dan suhu keluar 45°C.

$$T_1 = 35^\circ\text{C} = 95^\circ\text{F} = 308 \text{ K}$$

$$T_2 = 45^\circ\text{C} = 113^\circ\text{F} = 318 \text{ K}$$

$$\Delta H = C_p \times \Delta T$$

$$\Delta H = \Delta H \times (45^\circ\text{C}) - \Delta H \times (35^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = (4,1778 \text{ Kj/kg.K} \times (318 - 298)) - (4,1860 \text{ Kj/kg.K} \times (308 - 298))$$

$$\Delta H = 41,6954 \text{ Kj/kg}$$

Maka kebutuhan pendingin:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

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

$$m = \frac{346.142,6746 \text{ kg/jam}}{41,6954 \text{ Kj/kg}}$$

$$m = 8.301,6973 \text{ kg/jam}$$

Diperoleh kebutuhan pendingin sebesar 8.301,6973 kg/jam, atau 18.301,9219 lb/jam.

b. Menghitung ΔT LMTD

Tabel A.6 Suhu Fluida Dingin Dan Panas Reaktor Alkalisasi

Komponen	C	K	F
Suhu fluida panas masuk reaktor	30	303	86
Suhu fluida panas keluar reaktor	30	303	86
Suhu fluida dingin masuk	35	308	95
Suhu fluida dingin keluar	45	318	113

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Tabel A.7 Perbedaan Suhu Reaktor Alkalisasi

	Suhu Fluida Panas (F)	Suhu Fluida Dingin (F)	Perbedaan Suhu (F)
1	86	113	27
2	86	95	9

Maka, $\Delta T_{LMTD} = 16,3843^{\circ}\text{F}$

- c. Menghitung Luas Perpindahan Panas

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

Dari tabel.8 Kern didapatkan *Overall heat transfer* UD.

Nilai UD untuk *heavy organics (hot)* dan air (*cold*) sebesar 5-75 $\text{btu}/\text{ft}^2.\text{F}$

Viskositas = 28,6804 cP

Maka, $U_d = 75 \text{ btu}/\text{ft}^2.\text{F}.\text{jam}$

$$A = \frac{328.143,2556 \text{ btu}/\text{jam}}{75 \text{ btu}/\text{ft}^2.\text{F}.\text{jam} \times 16,3843^{\circ}\text{F}}$$

$$A = 267,0387 \text{ ft}^2$$

Diperoleh luas transfer panas sebesar 267,0387 ft^2 , atau 24,8087 m^2 .

- d. Menghitung Luas Selubung Reaktor

OD = 168 in, atau 13,9999 ft

$H_s = 160,9176 \text{ in}$, atau 13,4097 ft

$$A^{\theta} = (\pi \times \text{OD} \times H_s) + ((\pi/4) \times \text{OD})$$

$$A^{\theta} = (3,14 \times 13,9999 \text{ ft} \times 13,4097 \text{ ft}) \\ + ((3,14/4) \times 13,9999 \text{ ft}) \\ A^{\theta} = 743,3489 \text{ ft}^2$$

Diperoleh luas selubung reaktor sebesar 743,3489 ft², atau 68,0594 m².

e. Menentukan Jenis Pendingin

- Jika luas transfer panas (A) < luas selubung reaktor = menggunakan pendingin *jacket*.
- Jika luas transfer panas (A) > luas selubung reaktor = menggunakan pendingin *coil*.

Maka dipilih *jacket* sebagai pendingin reaktor untuk menjaga suhu tetap stabil.

f. Menghitung Diameter Jaket

$$ID \text{ jacket} = OD \text{ shell} + 2T_j$$

T_j = Jarak antara dinding luar tangki dan dinding bagian dalam jaket

Dipilih T_j sebesar 2 in.

$$ID \text{ jacket} = 161,4176 \text{ in} + (2 \times 2 \text{ in})$$

$$ID \text{ jacket} = 165,4176 \text{ in}$$

g. Menghitung Tebal Jaket

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

Keterangan:

t_s = Tebal *shell/jacket* (in)

r = Jari-jari shell = D/2 = 80,4588 in

f = Allowable stress = 18.750 in

E = Efisiensi sambungan = 80%

C = Corrosion allowance = 0,125 in

P = Tekanan design = 23,2620 psi

Maka nilai tebal *shell* adalah:

$$t_s = \frac{(23,2620 \text{ psi} \times 80,4588 \text{ in})}{(18.750 \text{ psi} \times 0,80) - (0,6 \times 23,2620 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_s = 0,2499 \text{ in}$$

Kemudian diambil t_s standar = $1/4 = 0,25 \text{ in}$ (Brownell & Young).

h. Menghitung *Head* Jaket

1) Menentukan OD *Jacket*

$$\text{OD} = \text{ID} + (2 \times t_s)$$

$$\text{OD} = 165,4176 \text{ in} + (2 \times 0,25 \text{ in})$$

$$\text{OD} = 165,9176 \text{ in}$$

Didapatkan nilai OD jacket sebesar 165,9176 in.

2) Menentukan icr dan rc

Dipilih nilai OD 168 in untuk menentukan nilai icr dan rc pada tabel 5.7 Brownell & Young.

$$\text{icr} = 10,1250 \text{ in}$$

$$\text{rc} = 144 \text{ in}$$

3) Menentukan Tekanan (P)

$$P = P_{\text{design}} - P_{\text{lingkungan}}$$

$$P = 23,2620 \text{ psi} - 14,6959 \text{ psi}$$

$$P = 8,5660 \text{ psi}$$

4) Menentukan Tebal *head*

$$th_{min} = \frac{P \times r \times W}{(2 \times f \times E) - (0,2 \times P)} + C$$

Keterangan:

th = Tebal *head* (in)

w = Faktor intensifikasi *stress*

f = *Allowable stress* = 18.750 in

E = Efisiensi sambungan = 80%

C = *Corrosion allowance* = 0,125 in

P = Tekanan *design* = 8,5660 psi

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{144 \text{ in}}{10,1250 \text{ in}}} \right)$$

$$w = 1,6928$$

$$th_{min} = \frac{8,5660 \text{ psi} \times 80,4588 \text{ in} \times 1,6928}{(2 \times 18.750 \text{ in} \times 0,80) - (0,2 \times 8,5660 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$th = 0,1299 \text{ in}$$

Berdasarkan tabel 5.7 buku Brownell & Young, tebal *head* untuk ukuran 0,1299 in mendekati nilai standar 3/16 atau 0,1875 in.

5) Menentukan tinggi *head*

Berdasarkan tabel 5.6 hal 88 Brownell & Young, dengan t_h 3/16

in, boleh menggunakan $s_f = 1,5 - 2$ in ($1 \frac{1}{2} - 2$).

Maka s_f : 2 in.

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 + (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + s_f$$

Gambar dimensi pada tutup jaket

$$a = 83,7500 \text{ in}$$

$$b = 32,1882 \text{ in}$$

$$AB = 73,6250 \text{ in}$$

$$BC = 133,8750 \text{ in}$$

$$AC = 111,8118 \text{ in}$$

$$OA = 34,3757 \text{ in}$$

Didapatkan tinggi *head* (t_h) sebesar 34,3757 in, atau 0,8731 m.

i. Menghitung Tinggi Total Jaket

$$h_{\text{total}} = h_{\text{cairan}} + h_{\text{head}}$$

$$h_{\text{total}} = 144,8259 \text{ in} + 34,3757 \text{ in}$$

$$h_{\text{total}} = 179,2016 \text{ in}$$

Diperoleh tinggi reaktor sebesar 179,2016 in, atau 4,5517 m.

j. Menghitung Luas Transfer Panas Jaket

Volume pemanas = Luas selimut x Tebal jaket (Brownell & Young, 5.12, P88).

1) Menentukan D_{e1} , A_{Shell} , A_{Head} , $A_{Total Jacket D_{e1}}$

$$D_{e1} = OD + \frac{OD}{42} (2 \times sf) + \frac{2}{3} icr$$

$$D_{e1} = 168 \text{ in} + \frac{168 \text{ in}}{42} (2 \times 2 \text{ in}) + \frac{2}{3} 10,1250 \text{ in}$$

$$D_{e1} = 182,7500 \text{ in}$$

Maka, D_{e1} sebesar 182,7500 in, atau 4,6419 m.

$$A_{shell} = \pi \times h \text{ total} \times OD$$

$$A_{shell} = 3,14 \times 179,2016 \text{ in} \times 168 \text{ in}$$

$$A_{shell} = 94.532,4154 \text{ in}^2$$

Maka, A_{shell} sebesar 94.532,4154 in^2 .

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times D_{e1}^2 \right)$$

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{3,14}{4} \times (182,7500 \text{ in})^2 \right)$$

$$A_{head} = 52.434,1731 \text{ in}^2$$

Maka, A_{head} sebesar 52.434,1731 in^2 .

$$A_{total jacket D_{e1}} = A_{shell} + A_{head}$$

$$A_{total jacket D_{e1}} = 94.532,4154 \text{ in}^2 + 52.434,1731 \text{ in}^2$$

$$A_{total jacket D_{e1}} = 146.966,5885 \text{ in}^2$$

Maka, $A_{total jacket D_{e1}}$ sebesar 146.966,5885 in^2 .

2) Menentukan D_{e2}

$$D_{e2} = (OD - th) + \frac{(OD - th)}{42} (2 \times sf) + \frac{2}{3} icr$$

$$D_{e2} = (168 \text{ in} - 0,1875 \text{ in}) + \frac{(168 \text{ in} - 0,1875 \text{ in})}{42} (2 \times 2 \text{ in}) + \frac{2}{3} 10,1250 \text{ in}$$

$$D_{e2} = 182,5580 \text{ in}$$

Maka, D_{e2} sebesar 182,5580 in, atau 4,6370 m.

$$A_{shell} = \pi \times h \text{ total} \times (OD - th)$$

$$A_{shell} = 3,14 \times 179,2016 \text{ in} \times (168 \text{ in} - 0,1875 \text{ in})$$

$$A_{shell} = 94.426,9105 \text{ in}^2$$

Maka, A_{shell} sebesar 94.426,9105 in².

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times D_{e2}^2 \right)$$

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{3,14}{4} \times (182,5580 \text{ in})^2 \right)$$

$$A_{head} = 52.324,0752 \text{ in}^2$$

Maka, A_{head} sebesar 52.324,0752 in²

$$A_{\text{total jacket } D_{e2}} = A_{shell} + A_{head}$$

$$A_{\text{total jacket } D_{e2}} = 94.426,9105 \text{ in}^2 + 52.324,0752 \text{ in}^2$$

$$A_{\text{total jacket } D_{e2}} = 146.750,9856 \text{ in}^2$$

Maka, $A_{\text{total jacket } D_{e1}}$ sebesar 146.750,9856 in².

3) Menentukan Luas

Luas yang dialiri *hot/cold fluid*

$$= A_{\text{total jacket } D_{e1}} - A_{\text{total jacket } D_{e2}}$$

$$\text{Luas yang dialiri } \textit{hot/cold fluid} = 215,6029 \text{ in}^2$$

Maka, luas yang dialiri *hot/cold fluid* sebesar 215,6029 in².

- k. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas antara Reaktor dan Jacket

$$\frac{h_i D_i}{k} = 0,36 \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right)^{2/3} \left(\frac{C \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{10 \mu} \right)^{0,14}$$

(Kern, 1965. Pers 20.1)

Maka didapatkan nilai h_i sebesar 1.762,8069 btu/ft².h.°F.

$$h_{io} = h_i \frac{A_i}{A} = h_i \frac{ID}{OD}$$

$$h_o = 0,87 \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right)^{2/3} \left(\frac{C \rho \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu W} \right)^{0,4}$$

(Kern, 1965. Pers. 6.5, Hal.: 105)

Maka, diperoleh H_{io} sebesar 1.688,4922 btu/ft².h.°F.

h_o sebesar 152,0881 btu/ft².h.°F.

- l. Menghitung *Clean Overall Coefficient* (U_c) dan *Designed Overall Coefficients* (U_d)

$$U_c = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o}$$

(Kern, 1965. Pers. 6.38, Hal.: 121)

$$U_c = \frac{1.688,4922 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F} \times 152,0881 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}{1.688,4922 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F} + 152,0881 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}$$

$$U_c = 139,5210 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}$$

Maka, diperoleh nilai U_c sebesar 139,5210 btu/ft².h.°F.

$$U_d = \frac{h_d U_c}{h_d + U_c}$$

Dimana,

Dari tabel 12 hal 845, Kern: *Fouling factor* R_d minimum 0,003.

$$h_d = \frac{1}{R_d} = \frac{1}{0,003} = 333,3333$$

$$U_d = \frac{333,3333 \times 139,5210 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}{333,3333 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F} + 139,5210 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}$$

$$U_d = 98,3538 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}$$

Maka, diperoleh nilai U_d sebesar 98,3538 btu/ft².h.°F.

m. Menghitung R_d

$$R_d = \frac{1}{U_d} - \frac{1}{U_c}$$

$$R_d = \frac{1}{98,3538 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}} - \frac{1}{139,5210 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}$$

$$R_d = 0,0030$$

Maka, diperoleh nilai R_d sebesar 0,0030.

2. Reaktor Eterifikasi (R-02)

Kode	: R-02
Fungsi	: Tempat terjadinya reaksi antara alkali selulosa dan sodium monokloroasetat menjadi produk karboksimetil selulosa.
Jenis	: Reaktor Tangki Alir Berpengaduk (RATB) dengan jaket pendingin.
Jumlah	: 1 unit
Mode Operasi	: Kontinyu
Bahan	: <i>Stainless Steel type 316</i>
Bentuk	: Tangki Silinder
Kondisi Operasi	: T = 70 °C
	P = 1 atm
	Jenis Reaksi = Eksotermis
	Konversi (X) = 88% atau 0,88
Reaksi	: $C_6H_9O_5Na + ClCH_2COONa \rightarrow C_8H_{11}O_7Na + NaCl$ $ClCH_2COONa + NaOH \rightarrow C_2H_3NaO_3 + NaCl$

1. Neraca Massa dan Densitas Reaktor

Komponen yang masuk dalam reaktor

Tabel A.8 Neraca Massa Komponen Reaktor Eterifikasi

No.	Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
		Arus 8	Arus 11	Arus 12
1.	C ₆ H ₁₀ O ₅	34,106	-	34,106
2.	NaOH	8,421	-	1,900
3.	C ₆ H ₉ O ₅ Na	284,080	-	34,090
4.	H ₂ O	836,526	19,641	856,167
5.	C ₃ H ₆ O	4.820,421	-	4.820,421
6.	ClCH ₂ COONa	2,321	176,773	2,579
7.	C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	-	-	328,792
8.	NaCl	-	-	88,257
9.	C ₂ H ₃ NaO ₃	-	-	15,978
Subtotal (Total setiap arus)		5.985,876	196,414	6.182,290
Total		6.182,290		6.182,290

Tabel A.9 Densitas Campuran Reaktor Eterifikasi

Komponen	BM	Massa (kg/jam)	Rho (kg/m ³)	Fv (kg/jam)	Fraksi Massa	Rho Campuran (kg/m ³)
C ₆ H ₁₀ O ₅	162	34,1064	1.060,0000	0,0322	0,0055	5,8478
NaOH	40	8,4213	1.896,2439	0,0044	0,0014	2,5830
C ₆ H ₉ O ₅ Na	184	284,0799	1.057,0000	0,2688	0,0460	48,5698
H ₂ O	18	856,1673	994,9603	0,8605	0,1385	137,7891
ClCH ₂ COONa	116	179,0939	1.374,0000	0,1303	0,0290	39,8032
C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	242	-	-	-	-	-
NaCl	58	-	-	-	-	-
C ₃ H ₆ O	58	4.820,4211	692,9648	6,9562	0,7797	540,3147

Komponen	BM	Massa (kg/jam)	Rho (kg/m³)	Fv (kg/jam)	Fraksi Massa	Rho Campuran (kg/m³)
C ₂ H ₃ NaO ₃	98	-	-	-	-	-
Total		6.182,2899	7.075,1690	8,2525	1,0000	774,9077

2. Design Equation

a. Menghitung Kecepatan Alir Volumetrik

$$F_V = \frac{\text{Massa Campuran}}{\text{Rho Campuran}}$$

$$F_V = \frac{7.075,1690 \text{ kg/jam}}{774,9077 \text{ kg/m}^3}$$

$$F_V = 8,2525 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

b. Menghitung Konsentrasi

$$C_{ao} = \frac{n_a}{F_V}$$

$$C_{ao} = \frac{1,5439 \text{ kmol/jam}}{8,2525 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$C_{ao} = 0,1871 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan mula-mula C_{ao} : 0,1871 kmol/m³, atau 187,0853 mol/m³.

$$C_{bo} = \frac{n_b}{F_V}$$

$$C_{bo} = \frac{1,5439 \text{ kmol/jam}}{8,2525 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$C_{bo} = 0,1871 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan mula-mula C_{bo} : 0,1871 kmol/m³, atau 187,0853 mol/m³.

$$C_a = C_{ao} \times (1 - X)$$

$$C_a = 0,1807 \text{ kmol/m}^3 \times (1 - 0,88)$$

$$C_a = 0,0225 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan konsentrasi C_a : 0,0225 kmol/m³, atau 22,4502 mol/m³.

$$C_b = C_{bo} - (C_{ao} \times X)$$

$$C_b = 0,1807 \text{ kmol/m}^3 - (0,1807 \text{ kmol/m}^3 - 0,88)$$

$$C_b = 0,0225 \text{ kmol/m}^3$$

Total umpan konsentrasi C_b : 0,0225 kmol/m³, atau 22,4502 mol/m³.

c. Menentukan Kinetika Reaksi

Reaksi orde 1

Reaksi *irreversible*

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

Keterangan:

k = Konstanta kecepatan reaksi

T = Suhu reaksi (K)

E_a = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (1/min)

R = Konstanta Gas *Ideal*

Tabel A.10 Kinetika Reaksi Eterifikasi

Ea	87300	J/mol
R	8,314	J/mol.K
T	60	°C
	333	K
A	2,15E+12	1/min
k	0,0435	1/min
	2,6070	1/jam

d. Menghitung Waktu Tinggal

$$\tau = \frac{X_n}{k \times (1 - X_n)}$$

$$\tau = \frac{88\%}{2,6070 \text{ 1/jam} \times (1 - 88\%)}$$

$$\tau = 2,8129 \text{ jam}$$

e. Menentukan Volume Reaktor

$$V = F_V \times \tau$$

$$V = 8,2525 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 2,8129 \text{ jam}$$

$$V = 23,2132 \text{ m}^3$$

f. Menghitung Dimensi Reaktor

Perancangan reaktor dibuat dengan faktor keamanan sebesar 20%, sehingga volume reaktor menjadi:

$$\text{Volume Reaktor} = 1,2 \times 23,2132 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Reaktor} = 27,8559 \text{ m}^3$$

Reaktor berbentuk silinder vertikal terdiri dari dinding (*shell*) dan tutup atas serta bawah (*head*) yang berbentuk *torispherical*.

Ditetapkan:

D : H = 1 (Brownell,1959)

D = Diameter reaktor

H = Tinggi reaktor

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad \text{nilai } D = H, \text{ perbandingan } 1:1$$

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

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 V_{shell}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 27,8559 \text{ m}^3}{3,14}}$$

$D = 3,2861 \text{ m}$, atau $129,3746 \text{ in}$, atau $10,7812 \text{ ft}$.

$H = 3,2861 \text{ m}$, atau $129,3746 \text{ in}$, atau $10,7812 \text{ ft}$.

$$V_{dish} = 0,000049 D_s^3$$

$$V_{dish} = 0,000049 \times 129,3746 \text{ in}^3$$

$$V_{dish} = 106,1067 \text{ in}^3$$

$V_{dish} = 106,1067 \text{ in}^3$, atau $0,0614 \text{ ft}^3$.

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{sf}{144}, \text{ dipilih } sf = 2 \text{ in}$$

$$V_{sf} = \frac{3,14}{4} 129,3746 \text{ in}^2 \frac{2 \text{ in}}{144}$$

$$V_{sf} = 182,4883 \text{ in}^3$$

$V_{sf} = 182,4883 \text{ in}^3$, atau $0,1056 \text{ ft}^3$, atau $0,0030 \text{ m}^3$.

$$V_{head} = 2(V_{dish} + V_{sf})$$

$$V_{head} = 2(0,0614 \text{ ft}^3 + 0,1056 \text{ ft}^3)$$

$$V_{head} = 0,3340 \text{ ft}^3$$

$V_{head} = 0,3340 \text{ ft}^3$, atau $0,0095 \text{ m}^3$.

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

Dikarenakan reaktor yang digunakan berbentuk silinder tegak, maka mencari volumenya menggunakan total volume *over design* + volume tutup. Dimana volume tutup adalah 2 kali volume *head*.

$$V_{reaktor} = V_{shell} + (2 \times V_{head})$$

$$V_{reaktor} = 27,8559 \text{ m}^3 + (2 \times 0,0095 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{reaktor}} = 27,8748 \text{ m}^3$$

Volume reaktor = 27,8748 m³.

$$V_{\text{bottom}} = 0,5V_{\text{head}}$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,5 \times 0,3340 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,1670 \text{ ft}^3$$

$V_{\text{bottom}} = 0,1670 \text{ ft}^3$, atau $0,0047 \text{ m}^3$.

g. Menghitung Tinggi Cairan dalam Reaktor

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

$$V_{\text{cairan}} = 27,8559 \text{ m}^3 - 0,0047 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cairan}} = 27,8511 \text{ m}^3$$

Diperoleh V_{cairan} sebesar $27,8511 \text{ m}^3$.

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

$$h_{\text{cairan}} = \frac{4 \times 27,8511 \text{ m}^3}{3,14 \times (3,2861 \text{ m})^2}$$

$$h_{\text{cairan}} = 3,285554 \text{ m}$$

Diperoleh h_{cairan} sebesar $3,285554 \text{ m}$.

h. Menghitung Tekanan Desain

Tekanan reaksi = 1 atm atau 14,6959 psia

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho gh}{gc}$$

Dimana, $g/gc = 1$

$$P_{\text{hidrostatik}} = 774,9077 \text{ kg/m}^3 \times 3,285554 \text{ m}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = 2.546,0012 \text{ kg/m}^2$$

Diperoleh $P_{\text{hidrostatik}}$ sebesar 2.546,0012 kg/m², atau 3,6213 psi, 0,2464 atm.

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

$$P_{\text{operasi}} = 3,6213 \text{ psi} + 14,6959 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = 18,3172 \text{ psi}$$

Diperoleh P_{operasi} sebesar 18,3172 psi, atau 1,2464 atm.

Tekanan *over design* 20%.

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times 18,3172 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 21,9807 \text{ psi}$$

Diperoleh P_{design} sebesar 21,9807 psi, atau 1,4957 atm.

i. Menghitung Tebal Dinding *Shell* atau Reaktor

Dalam menghitung ketebalan dinding *shell* atau reaktor menggunakan persamaan 14.34, buku Brownell & Young, 1959:275:

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

Keterangan:

T_s = Tebal *shell* (in)

r = Jari-jari *shell* = $D/2 = 64,6873 \text{ in}$

f = *Allowable stress* = 18.750 psi

C = *Corrosion allowance* = 0,125 in

P = Tekanan *design* = 21,9807 psi

E = Efisiensi sambungan = 80%

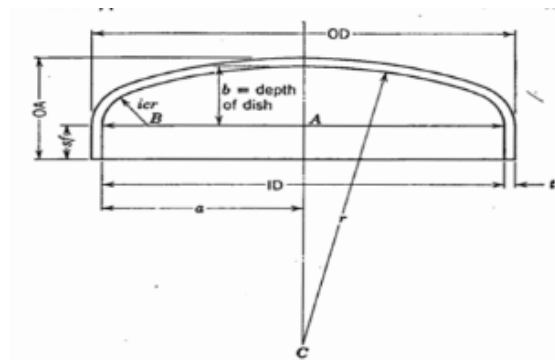
Maka nilai tebal *shell* adalah:

$$t_s = \frac{(21,9807 \text{ psi} \times 64,6873 \text{ in})}{(18.750 \text{ psi} \times 0,80) - (0,6 \times 21,9807 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_s = 0,2199 \text{ in}$$

Kemudian diambil t_s standar = $1/4 = 0,25 \text{ in}$ (Brownell & Young).

j. Menghitung *Head* Reaktor



Gambar A. 3 *Head* Reaktor

Keterangan:

t = Tebal *head*, in

icr = *Inside corner radius*, in

r = *Radius of dish*, in

OD = *Outside diameter*, in

ID = *Inside diameter*, in

B = *Depth of dish*, in

OA = *Overall dimension*, in

Sf = *Straight flange*

Bentuk *Head* : *Torispherical Head*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel SA-240 Grade M Type 316*

Alasan pemilihan bentuk *head torispherical* adalah:

- Digunakan untuk tangki dalam rentang tekanan 15-200 Psig (untuk tekanan operasi hingga 15 bar ataupun dapat digunakan P operasi *atmospheric*)
- Harga lebih ekonomis dan lebih mudah dibuat
- Memiliki *knuckle* radius yang membantu mendistribusikan tegangan disekitar sambungan head dan bagian silinder

4) Menentukan *icr* dan *rc*

Dipilih nilai OD 132 in untuk menentukan nilai *icr* dan *rc* pada tabel 5.7 Brownell & Young.

icr = 8 in

rc = 130 in

5) Menentukan tebal *head*

$$th_{min} = \frac{P \times r \times W}{(2 \times f \times E) - (0,2 \times P)} + C$$

Keterangan:

th = Tebal *head* (in)

w = Faktor intensifikasi *stress*

f = *Allowable stress* = 18.750 in

E = Efisiensi sambungan = 80%

C = *Corrosion allowance* = 0,125 in

P = Tekanan *design* = 21,9807 psi

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{130 \text{ in}}{8 \text{ in}}} \right)$$

$$w = 1,7578$$

$$\begin{aligned} th_{\min} &= \frac{21,9807 \text{ psi} \times 64,6873 \text{ in} \times 1,7578}{(2 \times 18.750 \text{ in} \times 0,80) - (0,2 \times 21,9807 \text{ psi})} \\ &\quad + 0,125 \text{ in} \end{aligned}$$

$$th = 0,2083 \text{ in}$$

Berdasarkan tabel 5.7 buku Brownell & Young, tebal *head* untuk ukuran 0,2083 in mendekati nilai standar 1/4 atau 0,25 in.

6) Menentukan tinggi *head*

Berdasarkan tabel 5.6 hal 88 Brownell & Young, dengan *th* 1/4 in, boleh menggunakan *sf* = 1,5 - 2,5 in (1 ½ - 2 ½).

Maka *sf* : 2 in.

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 + (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + sf$$

Gambar dimensi pada tutup reaktor

$$a = 67,7500 \text{ in}$$

$$b = 22,5340 \text{ in}$$

$$AB = 57,7500 \text{ in}$$

$$BC = 122,0000 \text{ in}$$

$$AC = 107,4660 \text{ in}$$

$$OA = 24,7840 \text{ in}$$

Didapatkan tinggi *head* (th) sebesar 24,7840 in, atau 0,6295 m.

k. Menghitung Tinggi Reaktor

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

$$h_{\text{reaktor}} = (2 \times 24,7840 \text{ in}) + 129,3746 \text{ in}$$

$$h_{\text{reaktor}} = 178,9426 \text{ in}$$

Diperoleh tinggi reaktor sebesar 178,9426 in, atau 4,5451 m, atau 14,9118 ft.

l. Menghitung Dimensi Pengaduk

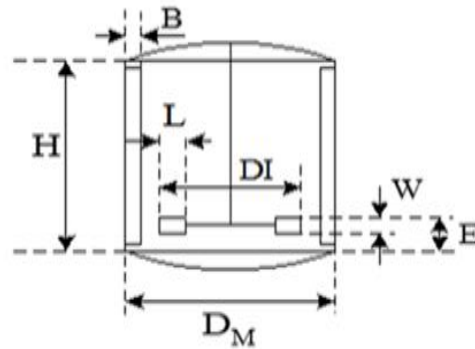
Tabel A.11 Viskositas Campuran Reaktor Eterifikasi

Komponen	BM	kg/jam	kmol/jam	xi	μ miu (cP)	xi. μ miu
C ₆ H ₁₀ O ₅	162	34,1064	0,2105	0,0055	11	0,0607
NaOH	40	1,8999	0,0475	0,0003	673,1320	0,2069
C ₆ H ₉ O ₅ Na	184	34,0896	0,1853	0,0055	6,2069	0,0342
H ₂ O	18	856,1673	47,5648	0,1385	0,4683	0,0649
ClCH ₂ COONa	116	2,5790	0,0222	0,0004	2,5000	0,0010
C ₈ H ₁₁ O ₇ Na	242	328,7916	1,3586	0,0532	1.460,0000	77,6469
NaCl	58	88,2575	1,5217	0,0143	199,0153	2,8411
C ₃ H ₆ O	58	4.820,4211	83,1107	0,7797	0,2342	0,1826
C ₂ H ₃ NaO ₃	98	15,9776	0,1630	0,0026	7,4000	0,0191
Total		6.182,2899	134,1844	1,0000	2.359,9567	81,0574

Viskositas campuran = 81,0574 cP atau 0,0811 Ns/m².

Dari data viskositas dan berdasarkan gambar 10.57 hal 472, Coulson digunakan pengaduk jenis *propeller (marine propeller with 3*

blades). *Impeller* jenis ini sesuai untuk pengadukkan dengan viskositas dibawah 4.000 cp.



Gambar A. 4 Visualisasi *Impeller*/Pengaduk

Keterangan:

DM = Diameter pengaduk

Z_i = Jarak pengaduk dari dasar tangki

E = Lebar *impeller*

B = Lebar *baffle*

L = Panjang *blade*

DI = Diameter batang penyangga

Offset 1 = Jarak *baffle* dari dasar tangki

Offset 2 = Jarak *baffle* dari permukaan cairan

Dengan ketentuan:

$$Dt/Di = 3$$

$$Zi/Di = 2,7 - 3,9 = 2,7$$

$$Zi/Di = 0,75 - 1,3 = 1$$

$$w_b/D_i = 0,1$$

$$L/D_i = 0,25$$

Diperoleh hasil:

$$D_i = \text{Diameter pengaduk} = 43,1249 \text{ in, atau } 1,0954 \text{ m.}$$

$$Z_L = \text{Tinggi cairan dalam reaktor} = 116,4371 \text{ in, atau } 2,9575 \text{ m.}$$

$$w_b = \text{Lebar } \textit{baffle} = 4,3125 \text{ in, atau } 0,1095 \text{ m.}$$

$$Z_i = \text{Jarak pengaduk dari dasar} = 43,1249 \text{ in, atau } 1,0954 \text{ m.}$$

$$L = \text{Lebar pengaduk} = 10,7812 \text{ in, atau } 0,2738 \text{ m.}$$

m. Menghitung *Spesific Gravity* (sg)

$$sg = \frac{\text{Densitas Cairan}}{\text{Densitas Air}}$$

$$sg = \frac{774,9077 \text{ kg/m}^3}{1.000 \text{ kg/m}^3}$$

$$sg = 0,7749$$

n. Menghitung *Water Equivalent Liquid High* (WELH)

$$WELH = \text{Tinggi Cairan} \times sg$$

$$WELH = 2,9575 \text{ m} \times 0,7749$$

$$WELH = 2,2918 \text{ m}$$

Diperoleh WELH sebesar 2,2918 m, atau 7,5190 ft.

o. Menghitung Jumlah Pengaduk

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{WELH}{D}$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{2,2918 \text{ m}}{3,2861 \text{ m}}$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = 0,6974$$

Berdasarkan perhitungan, diambil jumlah pengaduk sebanyak 1 buah.

p. Menghitung Kecepatan Pengaduk

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

$$N = \frac{600}{3,14 \times 3,5937 \text{ ft}} \sqrt{\frac{7,5190 \text{ ft}}{2 \times 3,5937 \text{ ft}}}$$

$$N = 54,3838 \text{ rpm} = 0,9064 \text{ rps}$$

Jenis motor: dipilih tipe *fixed speed belt* (paling ekonomis, mudah dalam pemasangan dan perbaikan)

Kecepatan pengaduk standar = 68 rpm

$$= 1,1333 \text{ rps}$$

q. Menghitung Bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \times N \times D_i^2}{\mu}$$

$$Re = \frac{774,9077 \text{ kg/m}^3 \times 1,1333 \text{ rps} \times (3,5937 \text{ ft})^2}{0,0545 \text{ lb/ft.s}}$$

$$Re = 12.999,7319$$

r. Menghitung *Power* Pengaduk

$$P = \frac{N_p \times \rho \times N^3 \times D_i^5}{gc}$$

$$P = \frac{1 \times 774,9077 \text{ kg/m}^3 \times (1,1333 \text{ rps})^3 \times (3,5937 \text{ ft})^5}{32,2 \text{ ft.lbm/s}^2.\text{lbf}}$$

$$P = 1.310,9009 \text{ ft.lb/s} = 2,3835 \text{ Hp}$$

Efisiensi daya motor adalah 80%.

$$\text{Daya motor} = \frac{P}{\eta}$$

$$\text{Daya motor} = \frac{2,3835 \text{ Hp}}{80\%}$$

$$\text{Daya motor} = 2,9793 \text{ Hp}$$

$$\text{Dipilih standarisasi daya} = 3 \text{ Hp}$$

3. Neraca Panas

Tabel A.12 Neraca Panas Reaktor Eterifikasi

Komponen Energi	Masuk (kj/jam)	Keluar (kj/jam)
Q1	524.356,5534	-
Q2	-	522.140,3639
Q Reaksi	320.026,0706	-
Q Pendingin	-	322.242,2601
Total	844.382,6240	844.382,6240

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

4. Perhitungan Jaket Pendingin

b. Menghitung Kebutuhan Pendingin

Media pendingin yang digunakan adalah *Cooling Water* dengan suhu masuk 35°C dan suhu keluar 45°C.

$$T1 = 35^{\circ}\text{C} = 95^{\circ}\text{F} = 308 \text{ K}$$

$$T2 = 45^{\circ}\text{C} = 113^{\circ}\text{F} = 318 \text{ K}$$

$$\Delta H = C_p \times \Delta T$$

$$\Delta H = \Delta H \times (45^{\circ}\text{C}) - \Delta H \times (35^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta H = (4,1778 \text{ Kj/kg.K} \times (318 - 298)) - (4,1860 \text{ Kj/kg.K} \times (308 - 298))$$

$$\Delta H = 41,6954 \text{ Kj/kg}$$

Maka kebutuhan pendingin:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

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

$$m = \frac{322.242,2601 \text{ kg/jam}}{41,6954 \text{ Kj/kg}}$$

$$m = 7.728,4828 \text{ kg/jam}$$

Diperoleh kebutuhan pendingin sebesar 7.728,4828 kg/jam, atau 17.038,2132 lb/jam.

h. Menghitung ΔT LMTD

Tabel A.13 Suhu Fluida Dingin Dan Panas Reaktor Eterifikasi

Komponen	C	K	F
Suhu fluida panas masuk reaktor	60	333	140
Suhu fluida panas keluar reaktor	60	333	140
Suhu fluida dingin masuk	35	308	95
Suhu fluida dingin keluar	45	318	113

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Tabel A.14 Perbedaan Suhu Reaktor Eterifikasi

	Suhu Fluida Panas (F)	Suhu Fluida Dingin (F)	Perbedaan Suhu (F)
1	140	113	27
2	140	95	45

Maka, $\Delta T_{LMTD} = 35,2371$

- i. Menghitung Luas Perpindahan Panas

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

Dari tabel.8 Kern didapatkan *Overall heat transfer* UD.

Nilai UD untuk *heavy organics (hot)* dan air (*cold*) sebesar 5-75 btu/ft².F

Viskositas = 81,0574 cP

Maka, Ud = 75 btu/ft².F.jam

$$A = \frac{305.485,6626 \text{ btu/jam}}{75 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{F.jam} \times 35,2371^\circ\text{F}}$$

$$A = 115,5925 \text{ ft}^2$$

Diperoleh luas transfer panas sebesar 115,5925 ft², atau 10,7389 m².

- j. Menghitung Luas Selubung Reaktor

OD = 132 in, atau 11,0000 ft

H_s = 129,3746 in, atau 10,7812 ft

$$A^\theta = (\pi \times OD \times H_s) + ((\pi/4) \times OD^2)$$

$$A^\theta = (3,14 \times 11,0000 \text{ ft} \times 10,7812 \text{ ft}) + ((3,14/4) \times 11,0000^2 \text{ ft}^2)$$

$$A^0 = 467,3644 \text{ ft}^2$$

Diperoleh luas selubung reaktor sebesar 467,3644 ft², atau 43,4196 m².

k. Menentukan Jenis Pendingin

- Jika luas transfer panas (A) < luas selubung reaktor = menggunakan pendingin *jacket*.
- Jika luas transfer panas (A) > luas selubung reaktor = menggunakan pendingin *coil*.

Maka dipilih *jacket* sebagai pendingin reaktor untuk menjaga suhu tetap stabil.

l. Menghitung Diameter Jaket

$$ID \text{ jacket} = OD \text{ shell} + 2T_j$$

T_j = Jarak antara dinding luar tangki dan dinding bagian dalam jaket

Dipilih T_j sebesar 2 in.

$$ID \text{ jacket} = 129,8746 \text{ in} + (2 \times 2 \text{ in})$$

$$ID \text{ jacket} = 133,8746 \text{ in}$$

m. Menghitung Tebal Jaket

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

Keterangan:

t_s = Tebal *shell/jacket* (in)

r = Jari-jari shell = $D/2 = 64,6873 \text{ in}$

f = Allowable stress = 18.750 in

E = Efisiensi sambungan = 80%

C = Corrosion allowance = 0,125 in

P = Tekanan design = 21,9807 psi

Maka nilai tebal *shell* adalah:

$$t_s = \frac{(21,9807 \text{ psi} \times 64,6873 \text{ in})}{(18.750 \text{ psi} \times 0,80) - (0,6 \times 21,9807 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_s = 0,2199 \text{ in}$$

Kemudian diambil t_s standar = $1/4 = 0,25$ in (Brownell & Young).

n. Menghitung *Head* Jacket

6) Menentukan OD *Jacket*

$$\text{OD} = \text{ID} + (2 \times t_s)$$

$$\text{OD} = 133,8746 \text{ in} + (2 \times 0,25 \text{ in})$$

$$\text{OD} = 134,3746 \text{ in}$$

Didapatkan nilai OD jacket sebesar 134,3746 in.

7) Menentukan icr dan rc

Dipilih nilai OD 138 in untuk menentukan nilai icr dan rc pada tabel 5.7 Brownell & Young.

$$\text{icr} = 8,3750 \text{ in}$$

$$\text{rc} = 132 \text{ in}$$

8) Menentukan Tekanan (P)

$$P = P_{\text{design}} - P_{\text{lingkungan}}$$

$$P = 21,9807 \text{ psi} - 14,6959 \text{ psi}$$

$$P = 7,2847 \text{ psi}$$

9) Menentukan Tebal *head*

$$th_{min} = \frac{P \times r \times W}{(2 \times f \times E) - (0,2 \times P)} + C$$

Keterangan:

th = Tebal *head* (in)

w = Faktor intensifikasi *stress*

f = *Allowable stress* = 18.750 in

E = Efisiensi sambungan = 80%

C = *Corrosion allowance* = 0,125 in

P = Tekanan *design* = 7,2847 psi

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{132 \text{ in}}{8,3750 \text{ in}}} \right)$$

$$w = 1,7425$$

$$th_{min} = \frac{7,2847 \text{ psi} \times 64,6873 \text{ in} \times 1,7425}{(2 \times 18.750 \text{ in} \times 0,80) - (0,2 \times 7,2847 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$th = 0,1285 \text{ in}$$

Berdasarkan tabel 5.7 buku Brownell & Young, tebal *head* untuk ukuran 0,1299 in mendekati nilai standar 3/16 atau 0,1875 in.

10) Menentukan tinggi *head*

Berdasarkan tabel 5.6 hal 88 Brownell & Young, dengan th 3/16 in, boleh menggunakan $sf = 1,5 - 2 \text{ in} (1 \frac{1}{2} - 2)$.

Maka $sf : 2 \text{ in.}$

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 + (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + sf$$

Gambar dimensi pada tutup jaket

$$a = 68,7500 \text{ in}$$

$$b = 24,1204 \text{ in}$$

$$AB = 60,3750 \text{ in}$$

$$BC = 123,6250 \text{ in}$$

$$AC = 107,8796 \text{ in}$$

$$OA = 26,3079 \text{ in}$$

Didapatkan tinggi *head* (th) sebesar 26,3079 in, atau 0,6682 m.

o. Menghitung Tinggi Total Jaket

$$h_{\text{total}} = h_{\text{cairan}} + h_{\text{head}}$$

$$h_{\text{total}} = 116,4371 \text{ in} + 26,3079 \text{ in}$$

$$h_{\text{total}} = 142,7450 \text{ in}$$

Diperoleh tinggi reaktor sebesar 142,7450 in, atau 3,6257 m.

p. Menghitung Luas Transfer Panas Jaket

Volume pemanas = Luas selimut x Tebal jaket (Brownell & Young, 5.12, P88).

3) Menentukan D_{e1} , A_{Shell} , A_{Head} , $A_{Total Jacket D_{e1}}$

$$D_{e1} = OD + \frac{OD}{42} (2 \times sf) + \frac{2}{3} icr$$

$$D_{e1} = 138 \text{ in} + \frac{138 \text{ in}}{42} (2 \times 2 \text{ in}) + \frac{2}{3} 8,3750 \text{ in}$$

$$D_{e1} = 150,8690 \text{ in}$$

Maka, D_{e1} sebesar 150,8690 in, atau 3,8321 m.

$$A_{shell} = \pi \times h \text{ total} \times OD$$

$$A_{shell} = 3,14 \times 142,7450 \text{ in} \times 138 \text{ in}$$

$$A_{shell} = 61.854,2843 \text{ in}^2$$

Maka, A_{shell} sebesar 61.854,2843 in^2 .

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times D_{e1}^2 \right)$$

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{3,14}{4} \times (150,8690 \text{ in})^2 \right)$$

$$A_{head} = 35.735,5072 \text{ in}^2$$

Maka, A_{head} sebesar 35.735,5072 in^2 .

$$A_{total jacket D_{e1}} = A_{shell} + A_{head}$$

$$A_{total jacket D_{e1}} = 61.854,2843 \text{ in}^2 + 35.735,5072 \text{ in}^2$$

$$A_{total jacket D_{e1}} = 97.589,7915 \text{ in}^2$$

Maka, $A_{total jacket D_{e1}}$ sebesar 97.589,7915 in^2 .

4) Menentukan D_{e2}

$$D_{e2} = (OD - th) + \frac{(OD - th)}{42} (2 \times sf) + \frac{2}{3} icr$$

$$D_{e2} = (138 \text{ in} - 0,1875 \text{ in}) + \frac{(138 \text{ in} - 0,1875 \text{ in})}{42} (2 \times 2 \text{ in}) + \frac{2}{3} 8,3750 \text{ in}$$

$$D_{e2} = 150,6771 \text{ in}$$

Maka, D_{e2} sebesar 150,6771 in, atau 3,8272 m.

$$A_{shell} = \pi \times h \text{ total} \times (OD - th)$$

$$A_{shell} = 3,14 \times 142,7450 \text{ in} \times (138 \text{ in} - 0,1875 \text{ in})$$

$$A_{shell} = 61.770,2432 \text{ in}^2$$

Maka, A_{shell} sebesar 61.770,2432 in².

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times D_{e2}^2 \right)$$

$$A_{head} = 2 \times \left(\frac{3,14}{4} \times (150,6771 \text{ in})^2 \right)$$

$$A_{head} = 35.644,6260 \text{ in}^2$$

Maka, A_{head} sebesar 35.644,6260 in²

$$A_{\text{total jacket } D_{e2}} = A_{shell} + A_{head}$$

$$A_{\text{total jacket } D_{e2}} = 61.770,2432 \text{ in}^2 + 35.644,6260 \text{ in}^2$$

$$A_{\text{total jacket } D_{e2}} = 97.414,8692 \text{ in}^2$$

Maka, $A_{\text{total jacket } D_{e1}}$ sebesar 97.414,8692 in².

4) Menentukan Luas

Luas yang dialiri *hot/cold fluid*

$$= A_{\text{total jacket } D_{e1}} - A_{\text{total jacket } D_{e2}}$$

$$\text{Luas yang dialiri } \textit{hot/cold fluid} = 174,9223 \text{ in}^2$$

Maka, luas yang dialiri *hot/cold fluid* sebesar 174,9223 in².

q. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas antara Reaktor dan Jacket

$$\frac{h_i D_i}{k} = 0,36 \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right)^{2/3} \left(\frac{C \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{10 \mu} \right)^{0,14}$$

(Kern, 1965. Pers 20.1)

Maka didapatkan nilai h_i sebesar 688,8499 btu/ft².h.°F.

$$h_{io} = h_i \frac{A_i}{A} = h_i \frac{ID}{OD}$$

$$h_o = 0,87 \left(\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right)^{2/3} \left(\frac{C \rho \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu W} \right)^{0,4}$$

(Kern, 1965. Pers. 6.5, Hal.: 105)

Maka, diperoleh H_{io} sebesar 645,7946 btu/ft².h.°F.

h_o sebesar 427,8336 btu/ft².h.°F.

r. Menghitung *Clean Overall Coefficient* (U_c) dan *Designed Overall Coefficients* (U_d)

$$U_c = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o}$$

(Kern, 1965. Pers. 6.38, Hal.: 121)

$$U_c = \frac{645,7946 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F} \times 427,8336 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}{645,7946 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F} + 427,8336 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}$$

$$U_c = 257,3448 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}$$

Maka, diperoleh nilai U_c sebesar 257,348 btu/ft².h.°F.

$$U_d = \frac{h_d U_c}{h_d + U_c}$$

Dimana,

Dari tabel 12 hal 845, Kern: *Fouling factor* R_d minimum 0,003.

$$h_d = \frac{1}{R_d} = \frac{1}{0,003} = 333,3333$$

$$U_d = \frac{333,3333 \times 257,3448 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}{333,3333 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F} + 257,3448 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}$$

$$U_d = 145,2256 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}$$

Maka, diperoleh nilai U_d sebesar 145,2256 btu/ft².h.°F.

s. Menghitung R_d

$$R_d = \frac{1}{U_d} - \frac{1}{U_c}$$

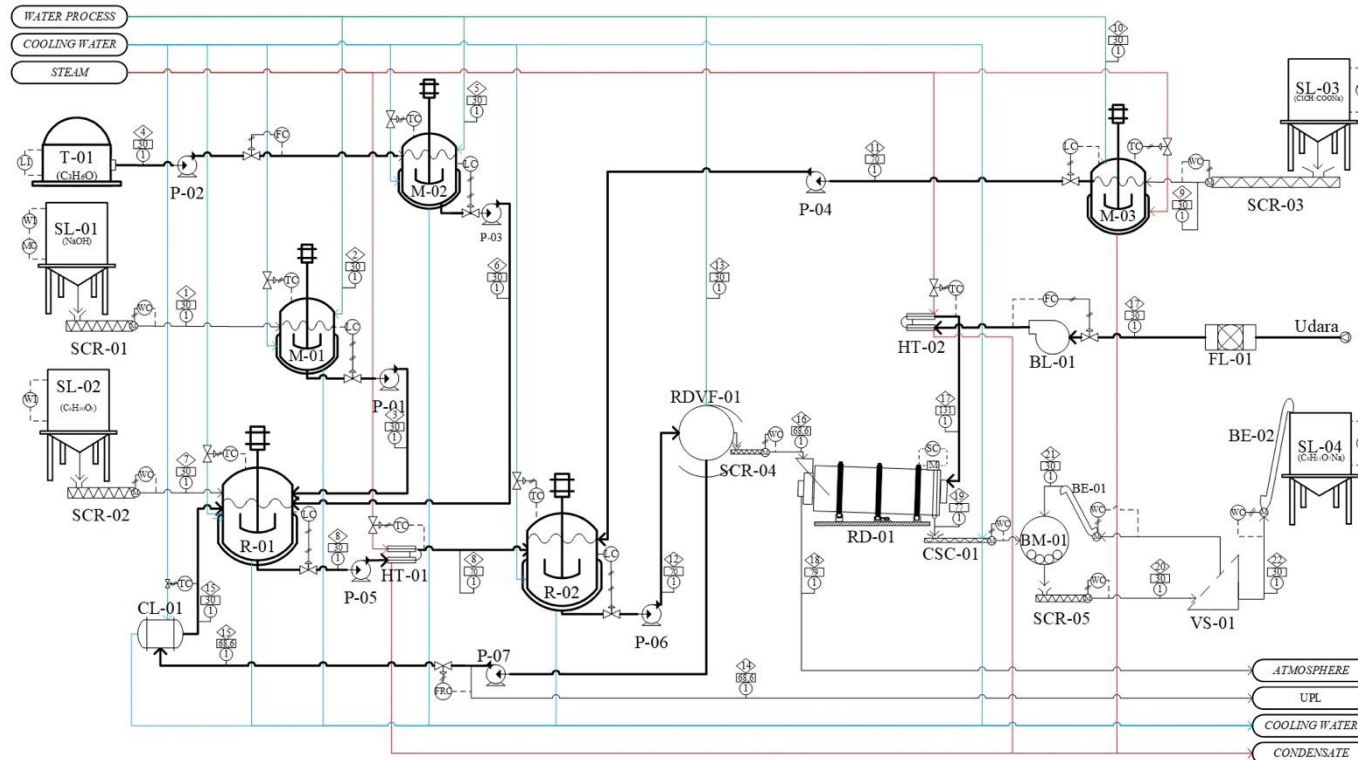
$$R_d = \frac{1}{145,2256 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}} - \frac{1}{257,3448 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{F}}$$

$$R_d = 0,0030$$

Maka, diperoleh nilai R_d sebesar 0,0030.

LAMPIRAN B.
PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK KARBOKSIMETIL SELULOSA DARI SELULOSA
DENGAN KAPASITAS 4.000 TON/TAHUN



KETERANGAN SIMBOL	
	Tekanan, atm
	Suhu, °C
	Nomor Arus
	Motor
	Control Valve
	Arus Sinyal Pneumatic
	Arus Sinyal Listrik
	Arus Proses
	Arus Steam
	Arus Cooling Water
	Arus Water Process

KETERANGAN ALAT	
BM	Ball Mill
BL	Blower
BE	Bucket Elevator
CL	Cooler
CSC	Cooling Screw Conveyor
FL	Filter Udara
HT	Heater
M	Mixer
P	Pompa
R	Reaktor
RDVF	Rotary Drum Vacuum Filter
RD	Rotary Dryer
SCR	Screw Conveyor
SL	Silo
T	Tangki
VS	Vibrating Screener

KETERANGAN INSTRUMEN	
FC	Flow Control
FRC	Flow Ratio Control
LC	Level Control
LI	Level Indicator
MC	Moisture Control
SC	Speed Control
TC	Temperature Control
WC	Weight Control
WI	Weight Indicator

Komponen	Nomor Arus (Kg/Jam)																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
C ₆ H ₁₀ O ₅	-	-	-	-	-	-	284,2203 (o)	34,1064 (o)	-	-	-	34,1064 (o)	-	-	-	34,1064 (o)	-	-	34,1064 (o)	35,8118 (o)	1,7053 (o)	34,1064 (o)
NaOH	68,4680 (o)	-	68,4680 (o)	-	-	-	-	8,4213 (o)	-	-	-	1,8999 (o)	-	0,1900 (o)	1,7099 (o)	-	-	-	-	-	-	-
C ₆ H ₅ O ₂ Na	-	-	-	-	-	-	-	284,0799 (o)	-	-	-	34,0896 (o)	-	-	-	34,0896 (o)	-	-	34,0896 (o)	35,7941 (o)	1,7045 (o)	34,0896 (o)
H ₂ O	1,3973 (o)	67,0707 (o)	68,4680 (o)	2,4223 (o)	204,1672 (o)	206,5895 (o)	17,2158 (o)	836,5258 (o)	3,6076 (o)	16,0338 (o)	19,6414 (o)	856,1673 (o)	100,2446 (o)	57,3847 (o)	516,4624 (o)	382,5647 (o)	-	378,7391 (o)	3,8256 (o)	4,0169 (o)	0,1913 (o)	3,8256 (o)
C ₆ H ₅ O	-	-	-	482,0421 (o)	-	482,0421 (o)	-	4,820,4211 (o)	-	-	-	4,820,4211 (o)	-	482,0421 (o)	4,338,3789 (o)	-	-	-	-	-	-	-
C ₆ H ₅ COONa	-	-	-	-	-	-	-	2,3211 (o)	176,7728 (o)	-	176,7728 (o)	2,5790 (o)	-	0,2579 (o)	2,3211 (o)	-	-	-	-	-	-	-
CaH ₂ O ₂ Na	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	328,7916 (o)	-	-	-	328,7916 (o)	-	-	328,7916 (o)	345,2312 (o)	16,4396 (o)	328,7916 (o)
NaCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88,2575 (o)	-	-	-	88,2575 (o)	-	-	88,2575 (o)	92,6703 (o)	4,4129 (o)	88,2575 (o)
C ₆ H ₅ NaO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,9776 (o)	-	-	-	15,9776 (o)	-	-	15,9776 (o)	16,7765 (o)	0,7989 (o)	15,9776 (o)
Udara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	206,8330 (o)	206,8330 (o)	-	-	-	-	-
Total	69,8653	67,0707	136,9360	484,4644	204,1672	688,6316	301,4361	5,985,8756	180,3804	16,0338	196,4142	6,182,2899	100,2446	539,8747	4,858,8722	883,7875	206,8330	585,5721	505,0484	530,3008	25,2524	505,0484
Vapor Fraction	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liquid Fraction	2,00%	100,00%	50,00%	100,00%	100,00%	100,00%	5,71%	94,68%	2,00%	100,00%	100,00%	91,89%	100,00%	100,00%	100,00%	43,29%	100,00%	-	0,76%	0,76%	0,76%	0,76%
Solid Fraction	98,00%	-	50,00%	-	-	-	94,29%	5,32%	98,00%	-	-	8,11%	-	-	-	56,71%	-	-	99,24%	99,24%	99,24%	99,24%

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK
KARBOKSIMETIL SELULOSA DARI SELULOSA
DENGAN KAPASITAS 4.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh:
 Annisa Rahmalia Safitri (22521088)
 Radiva Rizqino (22521102)

Dosen Pembimbing:
 Venitalitya Alethea Sari Augusta, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C.
KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa 1 : Annisa Rahmalia Safitri
 NIM : 22521088
 Nama Mahasiswa 2 : Radiva Rizqino
 NIM : 22521102
 Judul Perancangan : Pra Rancangan Pabrik Karboksimetil Selulosa dari
 Selulosa Dengan Kapasitas 4000 ton/tahun
 Semester/Tahun Akademik : VIII/2025-2026
 Nama Dosen Pembimbing : Ibu Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng.

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	26 September 2025	Bimbingan perdana/awal TA.	
2.	10 Oktober 2025	Konsultasi mengenai kapasitas pra rancangan pabrik.	
3.	24 Oktober 2025	Konsultasi mengenai fiksasi kapasitas pra rancangan pabrik.	
4.	16 Desember 2025	Konsultasi terkait pemilihan proses, spesifikasi bahan.	
5.	3 February 2026	Konsultasi terkait pemilihan alat yang digunakan.	
6.	20 February 2026	Konsultasi terkait neraca massa.	
7.	6 April 2026	Konsultasi mengenai fiksasi neraca massa, perhitungan perancangan reaktor, dan mixer.	

8.	30 April 2026	Konsultasi mengenai perhitungan perancangan alat pendukung.	
9.	12 Mei 2026	Konsultasi mengenai unit utilitas.	
10.	19 Mei 2026	Konsultasi utilitas dan evaluasi ekonomi.	
11.	22 Mei 2026	Konsultasi mengenai PEFD, <i>layout</i> alat proses, dan tata letak pabrik.	
12.	26 Mei 2026	Konsultasi mengenai naskah.	

Yogyakarta , 25 Mei 2026

Pembimbing,



Venitalitya Alethea, S.T., M.Eng.