

**PRARANCANGAN PABRIK MELAMIN DARI UREA DENGAN
KAPASITAS 70.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES
BASF**

PRARANCANGAN PABRIK

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



Oleh:

Nama	: Ahmad Syaifullah Muslim	Nama	: Adel Khalifa Ichwan
NIM	: 22521021	NIM	: 22521066

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

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK MELAMIN DARI UREA DENGAN KAPASITAS 70.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES BASF

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Syaifullah Muslim

Nama : Adel Khalifa Ichwan

NIM : 22521021

NIM : 22521066

Yogyakarta, 28 April 2026

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



Ahmad Syaifullah Muslim



Adel Khalifa Ichwan

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK MELAMIN DARI UREA DENGAN KAPASITAS

70.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES BASF

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Ahmad Syaifullah Muslim Nama : Adel Khalifa Ichwan

NIM : 22521021 NIM : 22521066



Yogyakarta, 28 Januari 2026



Pembimbing,



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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK MELAMIN DARI UREA DENGAN KAPASITAS 70.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES BASF

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Ahmad Syaifullah Muslim
NIM : 22521021

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta,

Tim Penguji,

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

Ketua

Nama Lengkap : Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph. D. (.....)

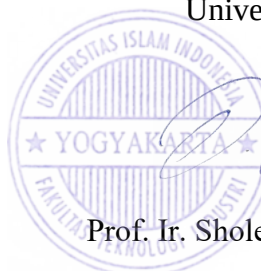
Anggota I

Nama Lengkap : Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc. (.....)

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia


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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK MELAMIN DARI UREA DENGAN KAPASITAS 70.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES BASF

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Adel Khalifa Ichwan
NIM : 22521066

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta,

Tim Penguji,

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

Ketua

Nama Lengkap : Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. (.....)

Anggota I

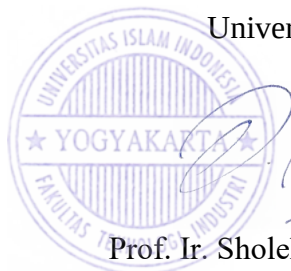
Nama Lengkap : Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., (.....)

M.Eng

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



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

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah memberikan doa, dukungan, serta motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu dosen pembimbing atas saran dan ilmu yang diberikan
3. Seluruh dosen Program Studi Teknik Kimia yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman selama masa perkuliahan
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia yang telah memberikan bantuan, diskusi, dan semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi penyempurnaan dimasa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Kimia.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Proses penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari berbagai tantangan, keterbatasan, serta perjalanan panjang yang sarat akan pembelajaran dan pengalaman berharga. Karya ini tidak semata-mata merupakan hasil kemampuan akademik, tetapi juga wujud dari kesabaran, keikhlasan, dan dukungan kebersamaan dari berbagai pihak.

Dalam setiap tahap penyusunannya, saya menyadari bahwa keberhasilan ini tidak mungkin tercapai tanpa adanya bantuan, dukungan, serta doa dari banyak pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, saya menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan peran penting dalam perjalanan studi saya.

Dengan tetap menjunjung rasa hormat serta menyadari segala keterbatasan yang dimiliki, saya mempersembahkan karya ini kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi berarti selama masa perkuliahan saya, yaitu:

1. Untuk Papah, yang semasa hidupnya telah berjuang tanpa lelah, berkorban dengan sepenuh hati, dan memberikan segala yang dimiliki demi masa depan anaknya. Setiap langkah dan pencapaian ini tidak lepas dari doa, keringat, dan kasih sayang yang Papah berikan. Namun, takdir berkata lain—di saat penulis ingin mempersembahkan kebahagiaan dan kebanggaan ini secara langsung, Papah telah lebih dahulu berpulang untuk selama-lamanya. Meski raga Papah telah tiada, cinta, nilai, dan perjuangan Papah akan selalu hidup dalam setiap langkah penulis. Semoga karya ini menjadi salah satu bentuk bakti dan hadiah yang tak sempat penulis berikan semasa Papah masih ada.

2. Untuk mamah, yang senantiasa menjadi sumber kekuatan, yang tak pernah lelah memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa batas. Terima kasih atas setiap pengorbanan, kesabaran, dan keteguhan hati dalam mendampingi perjalanan anakmu hingga sampai di titik ini. Engkaulah alasan penulis tetap berdiri kuat dan terus melangkah maju.
3. Untuk kakak saya, yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan motivasi kepada penulis dalam setiap proses yang dilalui. Terima kasih atas segala perhatian dan kesabaran dalam membantu penulis, serta atas setiap petunjuk dan arahan yang diberikan di saat penulis berada dalam kebingungan. Kehadiran dan dukungannya menjadi salah satu kekuatan bagi penulis untuk terus melangkah hingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Untuk nenek dan tante penulis terimakasih karena telah senantiasa memberikan doa, semangat, dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan hingga akhir penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas kasih sayang, perhatian, serta motivasi yang tidak pernah putus, yang selalu menguatkan penulis dalam menghadapi setiap tantangan dan proses yang dilalui. Dukungan yang diberikan menjadi salah satu alasan penulis mampu bertahan dan menyelesaikan perjalanan ini dengan baik.
5. Ibu Dr. Dyah Retno Sawitri, S. T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing tugas akhir. Terima kasih ibu, atas segala bimbingan, arahan, kesabaran, dan ilmu yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Saran dan masukan yang diberikan sangat membantu saya dalam memahami konsep serta menyempurnakan penyusunan tugas akhir ini. Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapat balasan yang berlipat ganda. Aminn
6. Partner Tugas Akhir, Adel Khalifa Ichwan saya mengucapkan terimakasih karena telah menjadi rekan seperjuangan dalam melalui setiap proses, tantangan, dan dinamika selama penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas

kerja sama, dukungan, serta semangat yang saling diberikan hingga karya ini dapat terselesaikan dengan baik. Kebersamaan dan pengalaman yang dilalui menjadi bagian berharga yang tidak akan terlupakan.

7. Teman-teman “Pemantau”, Hamas, Manda, Wawa yang telah setia menemani penulis dalam setiap proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan perjuangan yang dilalui bersama, termasuk momen begadang di Little Tiam demi satu tujuan—bisa menyelesaikan tugas akhir dan sidang bersama. Segala cerita, tawa, dan semangat yang dibagi menjadi kenangan berharga yang tidak akan terlupakan.
8. Teman-teman “kontrakan hhanjay”, yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis dalam bertahan hingga akhir masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan persahabatan yang telah terjalin sejak awal perkuliahan hingga saat ini. Setiap momen, cerita, dan tawa yang dibagi bersama menjadi kenangan berharga yang tidak akan terlupakan. Terima kasih telah menjadi teman yang baik dan selalu hadir dalam setiap proses yang penulis lalui.
9. Terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa, dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam berbagai bentuk dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Ahmad Syaifullah Muslim

LEMBAR PERSEMBAHAN

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

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

1. Orangtua saya, Umi dan Abi, dua manusia paling hebat yang saya tahu, yang senantiasa mendoakan dan mendukung saya tanpa henti. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada mereka sebagai rasa terima kasih saya atas pengorbanannya selama ini dan alasan terbesar saya untuk terus bertahan dan melangkah sejauh ini.
2. Kakak-kakak dan adik-adik saya, Tete Vira, Tete Billa, Nabil dan Hafidz, yang senantiasa menghadirkan nasihat, pelajaran berharga, serta canda dan tawa di setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih telah kebersamaan dan mendukung saya sejak awal hingga sampai pada titik ini.
3. Ibu Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing tugas akhir kami. Terima kasih banyak Bu, atas dukungan, bimbingan, dan arahnya selama ini. Terima kasih sudah banyak bersabar dalam menghadapi kami. Semoga ilmu yang Ibu berikan kepada kami dapat menjadi amal jariyah bagi Ibu.

4. Dewi, seseorang yang istimewa bagi saya, yang selalu hadir memberi warna dan semangat dalam setiap proses yang saya jalani. Terima kasih atas dukungan, kesabaran, dan kebersamaan yang sangat berarti bagi saya selama ini.
5. Ipul, partner saya selama menjalani akhir masa perkuliahan ini mulai dari Kerja Praktik, Penelitian hingga saat ini kita bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini bersama. Banyak sekali suka duka yang kita lalui bersama untuk meraih gelar kita, Pul. Maaf jika saya banyak lalai dan merepotkan dalam perjalanan kita yang sangat tidak mudah ini. Semoga setelah ini kita bisa sama sama sukses dan meraih cita-cita kita masing-masing ya.
6. Anak-anak “kontrakan hhhhanjay”, yang begitu solid dan selalu membuat masa perkuliahan saya terasa lebih hidup. Bersama kalian, banyak hal telah kita lalui bersama, mulai dari menjalani kegiatan JAMTEK 2023-2024 bersama-sama hingga momen-momen seperti jalan-jalan ke pantai, keluar kota, dan masih banyak lagi yang tidak bisa disebutkan semuanya. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, dan kenangan yang tidak terlupakan. Semoga kedepannya kita tetap solid, ya.
7. Anak-anak “Ventitre Bratvae 23”, teman-teman saya semasa SMA, terima kasih telah selalu menjadi rumah, meskipun kita dipisahkan oleh jarak, kesibukan, dan kehidupan masing-masing, kalian tetap menjadi salah satu sumber penyemangat terbesar saya di perjalanan ini. Semoga persahabatan kita tetap kuat dan tidak pernah pudar oleh waktu.
8. Anak-anak “Chimico Brivo 22”, teman-teman saya Teknik Kimia Angkatan 2022, yang menghadirkan rasa kekeluargaan yang begitu kuat. Dalam setiap kesulitan, selalu ada tangan yang saling membantu, melangkah dan berjuang bersama. Kebersamaan ini membuktikan bahwa kita mampu tetap solid hingga

akhir perkuliahan, saling peduli, dan terus berjalan berdampingan. Semoga kalian semua berhasil dan sukses mengejar cita-cita kalian semua, ya.

9. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas doa, dukungan, bantuan, serta kontribusi yang telah diberikan dalam berbagai bentuk selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Setiap peran, sekecil apa pun, memiliki makna yang sangat berarti dan menjadi bagian penting dalam perjalanan serta pencapaian saya hingga saat ini.

Adel Khalifa Ichwan

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL ii

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iii

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iv

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI v

PRAKATA vi

LEMBAR PERSEMBAHAN vii

LEMBAR PERSEMBAHAN x

DAFTAR ISI xiii

DAFTAR GAMBAR xvii

DAFTAR TABEL xviii

ABSTRAK xx

ABSTRACT xxi

BAB I PENDAHULUAN 2

1.1 Latar Belakang 2

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik 3

1.2.1 Kapasitas Pabrik Melamin yang Telah Berdiri 3

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku 5

1.2.3 Kebutuhan Produk di Indonesia 6

1.3 Tinjauan Pustaka 10

1.3.1 Macam-macam Proses Pembuatan Melamin 13

1.3.2 Metode Proses 25

1.3.3 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika 25

BAB II PERANCANGAN PRODUK 33

2.1 Spesifikasi Produk 33

2.1.1 Spesifikasi Umum Melamin 33

2.1.2 Sifat Kimia Melamin 33

2.1.3 Identifikasi *Hazard* Melamin 34

2.2 Spesifikasi Produk Samping 35

2.2.1 Spesifikasi Umum Amonia (NH₃) 35

2.2.2 Sifat Kimia Amonia 35

2.2.3 Identifikasi *Hazard* Amonia 36

2.2.4 Spesifikasi Umum Karbon Dioksida (CO₂) 37

2.2.5 Sifat Kimia Karbon Dioksida 37

2.2.6 Identifikasi *Hazard* Karbon Dioksida 38

2.3 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung 38

2.3.1 Spesifikasi Umum Urea 38

2.3.2 Sifat Kimia Urea	39
2.3.3 Identifikasi <i>Hazard</i> Urea.....	40
2.3.4 Spesifikasi Umum Alumina	41
2.3.5 Sifat Kimia Alumina	41
2.3.6 Identifikasi <i>Hazard</i> Alumina	42
2.4 Pengendalian Kualitas	43
2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	44
2.4.2 Pengendalian Kualitas Proses	44
2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk	45
BAB III PERANCANGAN PROSES.....	46
3.1 Diagram Alir Proses dan Material.....	46
3.2 Uraian Proses.....	48
3.2.1 Dasar Reaksi.....	48
3.2.2 Langkah Proses	49
3.3 Spesifikasi Alat.....	51
3.3.1 Alat Besar.....	51
3.3.2 Spesifikasi Alat Penyimpanan	60
3.3.3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan	61
3.3.4 Spesifikasi Alat Penukar Panas	69
3.4 Neraca Massa	75
3.4.1 Neraca Massa <i>Melter</i> -01 (ME-01)	75
3.4.2 Neraca Massa <i>Mixer</i> -01 (M-01).....	76
3.4.3 Neraca Massa <i>Splitting Point</i>	76
3.4.4 Neraca Massa Reaktor-01 (R-01)	77
3.4.5 Neraca Massa <i>Desublimers</i> -01 (DS-01)	77
3.4.6 Neraca Massa <i>Cyclone</i> -01 (CY-01)	78
3.4.7 Neraca Massa <i>Scrubber</i> -01 (T-01).....	78
3.4.8 Neraca Massa <i>Purging</i>	79
3.4.9 Neraca Massa Total.....	79
3.5 Tabel Neraca Panas	80
3.5.1 Neraca Panas <i>Melter</i>	80
3.5.2 Neraca Panas Reaktor	80
3.5.3 Neraca Panas <i>Desublimers</i>	81
3.5.4 Neraca Panas <i>Scrubber</i>	81
3.5.5 Neraca Panas Kompresor	82
3.5.6 Neraca Panas <i>Cooling Screw Conveyor</i>	82
3.5.7 Neraca Panas <i>Heater</i> -01.....	83

3.5.8	Neraca Panas <i>Heater-02</i>	83
3.5.9	Neraca Panas <i>Cooler</i>	84
3.5.10	Neraca Panas <i>Expansion Valve</i>	84
BAB IV PERANCANGAN PABRIK		85
4.1	Lokasi Pabrik.....	85
4.1.1	Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	85
4.1.2	Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	87
4.2	Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>).....	89
4.3	Tata Letak Mesin / Alat Proses	92
4.4	Organisasi Perusahaan.....	94
4.4.1	Bentuk Perusahaan	94
4.4.2	Struktur Organisasi	95
4.4.3	Tugas dan Wewenang	98
4.4.4	Ketenagakerjaan.....	102
4.4.5	Jadwal Kerja Karyawan	103
4.4.6	Perincian Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji Pegawai.....	105
4.4.7	Kesejahteraan Karyawan.....	107
4.4.8	Fasilitas Karyawan.....	107
BAB V UTILITAS.....		110
5.1	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	110
5.1.1	Unit Penyediaan Air.....	110
5.1.2	Kebutuhan Air	113
5.1.3	Unit Pengolahan Air.....	115
5.1.4	Spesifikasi Alat Utilitas	118
5.2	Unit Pembangkit <i>Steam</i>	139
5.3	Unit Pembangkit Listrik	140
5.4	Unit Penyedia Udara Tekan.....	141
5.5	Unit Penyedia <i>Molten salt</i>	141
5.6	Unit Penyedia Bahan Bakar	142
5.7	Unit Penyedia <i>Downtherm</i>	142
5.8	Unit Pengolahan Limbah.....	143
BAB VI EVALUASI EKONOMI		145
6.1	<i>Index</i> Harga Alat	146
6.2	Dasar Perhitungan	147
6.3	Perhitungan Biaya	147
6.3.1	Modal (<i>Capital Investment</i>)	147
6.3.2	Biaya Produksi (<i>Manufacturing Cost</i>)	149

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*) 151

6.4 Analisis Risiko Pabrik 151

6.5 Analisa Keuntungan 155

6.6 Analisa Kelayakan 156

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN 162

7.1 Kesimpulan 162

7.2 Saran 163

DAFTAR PUSTAKA 164

LAMPIRAN 166

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Struktur Kimia Melamin 11

Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif 46

Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif 47

Gambar 4. 1 Lokasi Pabrik Melamin akan Didirikan 88

Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik 90

Gambar 4. 3 Tata Letak Mesin..... 93

Gambar 4. 4 Struktur Organisasi..... 97

Gambar 5. 1 Diagram Unit Pengolahan Air..... 138

Gambar 6. 1 Grafik *Index* Harga..... 146

Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi 161

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Pabrik Melamin yang Pernah Berdiri di Indonesia.....	4
Tabel 1. 2 Produsen Melamin yang Telah Beroperasi di Dunia	4
Tabel 1. 3 Pabrik Urea yang ada Di Indonesia.....	6
Tabel 1. 4 Data Impor MUF Resin di Indonesia.....	7
Tabel 1. 5 Demand Melamin Resin di Indonesia.....	9
Tabel 1. 6 Pertimbangan Proses Pembentukan Melamin.....	24
Tabel 1. 7 Data Experiment Pada US Patents No. 4,156,080	28
Tabel 1. 8 Hasil Perhitungan Nilai k pada Orde 0	30
Tabel 1. 9 Perhitungan Nilai k Orde 1	31
Tabel 1. 10 Perhitungan Nilai k Orde 2	31
Tabel 2. 1 Identifikasi <i>Hazard</i> Melamin	34
Tabel 2. 2 Identifikasi <i>Hazard</i> Amonia.....	36
Tabel 2. 3 Identifikasi <i>Hazard</i> Karbon Dioksida	38
Tabel 2. 4 Identifikasi <i>Hazard</i> Urea.....	40
Tabel 2. 5 Identifikasi <i>Hazard</i> Alumina	42
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penyimpanan	60
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Penyimpanan (lanjutan).....	61
Tabel 3. 3 Spesifikasi Transportasi <i>Bucket Elevator</i>	64
Tabel 3. 4 Spesifikasi Transportasi Gas.....	65
Tabel 3. 5 Data Spesifikasi Pompa	67
Tabel 3. 6 Data Spesifikasi Pompa (lanjutan).....	68
Tabel 3. 7 Neraca Massa <i>Melter-01</i>	75
Tabel 3. 8 Neraca Massa <i>Mixer-01</i>	76
Tabel 3. 9 Neraca Massa <i>Splitting Point</i>	76
Tabel 3. 10 Neraca Massa Reaktor-01	77
Tabel 3. 11 Neraca Massa <i>Desublimmer-01</i>	77
Tabel 3. 12 Neraca Massa <i>Cyclone-01</i>	78
Tabel 3. 13 Neraca Massa <i>Scrubber-01</i>	78
Tabel 3. 14 Neraca Massa <i>Purging</i>	79
Tabel 3. 15 Neraca Massa Total.....	79
Tabel 3. 16 Neraca Panas di <i>Melter-01</i>	80
Tabel 3. 17 Neraca Panas di Reaktor	80
Tabel 3. 18 Neraca Panas di <i>Desublimmer-01</i>	81
Tabel 3. 19 Neraca Panas di <i>Scrubber</i>	81
Tabel 3. 20 Neraca Panas di Kompresor	82
Tabel 3. 21 Neraca Panas <i>Cooling Screw Conveyor-01</i>	82
Tabel 3. 22 Neraca Panas di <i>Heater-01</i>	83
Tabel 3. 23 Neraca Panas di <i>Heater-02</i>	83
Tabel 3. 24 Neraca Panas di <i>Cooler-01</i>	84
Tabel 3. 25 Neraca Panas di <i>Expansion Valve</i>	84
Tabel 4. 1 Luas Lokasi Pabrik.....	91
Tabel 4. 2 Jadwal Pembagian Kerja Karyawan <i>Shift</i>	105
Tabel 4. 3 Gaji Karyawan	106
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin.....	114
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air <i>Steam</i>	114
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Sanitasi	115
Tabel 5. 4 Alat Transportasi Utilitas	132
Tabel 5. 5 Alat Transportasi Utilitas (Lanjutan)	133

Tabel 5. 6 Alat Transportasi Utilitas (Lanjutan) 135

Tabel 5. 7 Alat Transportasi Utilitas (Lanjutan) 136

Tabel 6. 2 *Physical Plant Cost* (PPC) 148

Tabel 6. 3 *Direct Plant Cost* (DPC) 148

Tabel 6. 4 *Fixed Capital Investment* (FCI) 148

Tabel 6. 5 *Working Capital Investment* (WCI) 149

Tabel 6. 6 *Direct Manufacturing Cost* (DMC) 149

Tabel 6. 7 *Indirect Manufacturing Cost* (IMC) 150

Tabel 6. 8 *Fixed Manufacturing Cost* (FMC) 150

Tabel 6. 9 *Total Manufacturing Cost*..... 150

Tabel 6. 10 *General Expenses*..... 151

Tabel 6. 11 *Total Production Cost*..... 151

Tabel 6. 12 Hasil Analisis Resiko 153

Tabel 6. 13 *Annual Fixed Manufacturing Cost* (Fa)..... 158

Tabel 6. 14 *Annual Regulated Expenses* (Ra)..... 158

Tabel 6. 15 *Annual Variable Value* (Va) 158

Tabel 6. 16 *Annual Sales* (Sa)..... 158

Tabel 6. 17 Hasil Kelayakan Ekonomi 161

ABSTRAK

Pembangunan pabrik melamin memiliki prospek yang sangat menjanjikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan melamin di Indonesia. Perancangan awal pabrik melamin dengan menggunakan proses BASF direncanakan berlokasi di Gresik, Jawa Timur, dengan luas area sekitar 21.250 m² dan kapasitas produksi sebesar 70.000 ton per tahun. Pabrik ini direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam setahun dengan waktu operasi 24 jam per hari serta didukung oleh 114 tenaga kerja. Proses produksi melamin dari urea berlangsung melalui dua tahapan reaksi. Tahap pertama adalah dekomposisi urea menjadi asam isosianat dan amonia. Selanjutnya, pada tahap kedua, asam isosianat bereaksi membentuk melamin, amonia, dan karbon dioksida. Proses ini menggunakan katalis alumina (Al₂O₃) dan berlangsung di dalam reaktor *Fluidized Bed* pada kondisi operasi suhu 395°C dan tekanan 3 atm, dengan sistem pemanas menggunakan *molten salt*. Tingkat konversi reaksi yang dicapai sebesar 95%, dengan produk akhir berupa kristal padat melamin. Dalam operasionalnya, pabrik ini memerlukan air utilitas sebesar 29.833,211 kg/jam serta daya listrik sebesar 349,995 kW yang dipasok oleh PLN, dengan tambahan *generator* sebagai sumber listrik cadangan. Analisis kelayakan ekonomi dilakukan berdasarkan total investasi yang mencakup penanaman modal tetap dan modal kerja. Total biaya produksi tercatat sebesar Rp 1.096.759.541.854,21, sedangkan pendapatan tahunan mencapai Rp 1.246.770.000.000, sehingga diperoleh nilai *Return on Investment* (ROI) sebesar 39%. Nilai *Pay Out Time* (POT) adalah 2 tahun, *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 19,2%, *Break Even Point* (BEP) sebesar 41%, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 22%. Berdasarkan hasil analisis tersebut, pabrik ini dinyatakan layak untuk didirikan.

Kata kunci: Alumina, Melamin, Proses BASF, Reaktor *Fluidized Bed*, Urea

ABSTRACT

The development of a melamine Plant presents a highly promising prospect, considering the increasing demand for melamine in Indonesia. The preliminary design of the melamine Plant using the BASF process is planned to be located in Gresik, East Java, with a Land area of approximately 21,250 m² and a Production capacity of 70,000 tons per year. The Plant is designed to operate for 330 days Annually, 24 hours per day, and will be supported by a workforce of 114 employees. The Production of melamine from urea occurs through Two reaction Stages. The first Stage involves the decomposition of urea into isocyanic acid and ammonia. In the second Stage, isocyanic acid reacts to form melamine, ammonia, and carbon dioxide. This process utilizes an alumina (Al₂O₃) catalyst and takes place in a Fluidized Bed reactor operating at a temperature of 395°C and a pressure of 3 atm, with molten salt used as the Heating medium. The reaction achieves a conversion rate of 95%, producing solid crystalline melamine as the final Product. In its operation, the plant requires utility water of 29.833,211 kg/h and electrical power of 349,995 kW supplied by PLN, with an additional generator as a backup power source. The feasibility analysis of the Plant is conducted based on total investment, which includes Fixed Capital Investment and Working capital. The total Production cost is Rp 1,096,759,541,854.21, while the Annual revenue reaches Rp 1,246,770,000,000, resulting in the Return on Investment (ROI) to be of 39%. The Pay Out Time (POT) is 2 years, the Discounted Cash Flow Rate (DCFR) is 19.2%, the Break Even Point (BEP) is 41%, and the Shut Down Point (SDP) is 22%. Based on this economic analysis, the Plant is considered feasible to be established.

Keywords: Alumina, BASF Process, Fluidized Bed Reactor, Melamine, Urea

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini pemerintah Indonesia tengah melakukan pengembangan di berbagai sektor industri. Industri kimia menjadi salah satu sektor yang memiliki peranan penting serta memberikan kontribusi devisa yang cukup besar bagi negara. Kebutuhan bahan kimia dari waktu ke waktu terus mengalami peningkatan dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut masih dilakukan impor dari berbagai negara. Salah satu bahan kimia yang diimpor dalam jumlah besar ke Indonesia adalah melamin. Melamin merupakan senyawa yang dihasilkan dari industri petrokimia dengan rumus kimia $C_3H_6N_6$ dan dikenal juga sebagai *2-4-6 Triamino 1-3-5 Triazine*. Senyawa ini berbentuk kristal *monoclinic* berwarna putih. Bahan baku yang digunakan pada proses pembuatan melamin merupakan urea serta campuran amonia serta karbon dioksida dengan *fluidizing gas* dan katalis alumina.

Diperkirakan kebutuhan melamin secara global terus meningkat karena banyaknya aplikasi bahan ini pada berbagai industri, seperti pembuatan melamin resin, bahan sintesa organik, pelapis kertas, cat, tekstil, dan penyamakan kulit (Lehni, 2018). Di Indonesia sendiri, pembangunan pabrik melamin menjadi penting untuk mengurangi ketergantungan impor dan memanfaatkan ketersediaan bahan baku urea yang melimpah di dalam negeri. Urea digunakan sebagai bahan baku karena tidak memiliki sifat beracun, tidak mencemari lingkungan dan memiliki harga yang ekonomis. Ketersediaan urea di Indonesia juga cukup melimpah dan sejalan dengan kebutuhan melamin yang semakin meningkat hal itu juga dikarenakan pabrik yang memproduksi melamin telah berhenti beroperasi.

Selain itu, dari sisi ekonomi, pabrik melamin dinilai menguntungkan karena analisis keuangan menunjukkan keuntungan yang cukup besar dan modal bisa kembali dalam waktu kurang dari 3 tahun. Namun, penting juga untuk memperhatikan keamanan dan dampak lingkungan, karena melamin bisa berbahaya jika tidak dikelola dengan baik, terutama jika sampai mencemari makanan atau lingkungan (Li, 2019).

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, pembangunan pabrik melamin di Indonesia menjadi langkah strategis yang dapat mengurangi ketergantungan impor, memanfaatkan ketersediaan urea lokal yang melimpah, serta meningkatkan nilai tambah industri petrokimia nasional. Pabrik melamin ini diharapkan tidak hanya memenuhi kebutuhan dalam negeri, tetapi juga mampu menembus pasar ekspor sehingga memberikan kontribusi devisa yang lebih besar bagi negara. Selain itu, penerapan teknologi proses yang efisien, penggunaan katalis ramah lingkungan, serta penerapan standar keselamatan dan pengelolaan limbah yang ketat akan memastikan keberlanjutan operasional pabrik sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan demikian, pembangunan pabrik melamin di Indonesia tidak hanya menjawab kebutuhan industri yang terus meningkat, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan secara berkelanjutan.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Kapasitas pabrik melamin ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan, antara lain kapasitas pabrik yang telah beroperasi, ketersediaan bahan baku, serta kebutuhan terhadap produk.

1.2.1 Kapasitas Pabrik Melamin yang Telah Berdiri

Terdapat dua pabrik yang pernah beroperasi di Indonesia yaitu PT. Sri Melamin Rejeki dan PT. DSM Kaltim Melamin. Akan tetapi pabrik-pabrik tersebut sudah tidak beroperasi lagi. Berikut tabel mengenai kapasitas pabrik melamin yang pernah berdiri di Indonesia.

Tabel 1. 1 Pabrik Melamin yang Pernah Berdiri di Indonesia

Nama Pabrik	Kapasitas Produksi
PT. Sri Melamin Rejeki	20.000
PT. DSM Kaltim Melamin	50.000

Pada Tabel 1.1 dapat dilihat bahwasannya pabrik melamin pernah berproduksi di Indonesia dengan kapasitas 20.000 dan 50.000 ton/tahun. Menurut data yang ada pada (Ullmann's, 2012), kapasitas pabrik melamin yang beroperasi di dunia berkapasitas 5.000-90.000 ton/tahun. Berikut tabel yang menunjukkan beberapa diantara produsen melamin yang telah beroperasi di dunia.

Tabel 1. 2 Produsen Melamin yang Telah Beroperasi di Dunia

Negara	Nama Pabrik	Kapasitas Produksi
		(ton/tahun)
Jerman	BASF	42.000
Austria	Chemie Linz	55.000
Belanda	DSM	90.000
Italia	Ausind	28.000
Perancis	Norsolor	15.000
Polandia	Polimex Cekop	28.000
Rumania	Romchim	12.000
Uni Soviet	Techmashimport	10.000
Amerika Serikat	American Melamine Ind.	50.000

Negara	Nama Pabrik	Kapasitas Produksi
		(ton/tahun)
Jepang	Melamine Chem.	47.000
	Mitsubishi Petrochemical	32.000
	Mitsui Toatsu Chemical	38.000
	Nissan Chemical	42.000
Korea	Korea Fertilizer	16.000
Taiwan	Taiwan Fertilizer	10.000
Arab Saudi	Safco	20.000
Cina	Sichuan Chemical Works	12.000
India	Gujarat State Fertilizer	5.000
Total		552.000

Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwasannya kapasitas pabrik melamin yang ada di dunia memiliki kapasitas 5.000-90.000 ton/tahun.

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Pembuatan produk melamin tentu memerlukan bahan baku berupa urea. Kebutuhan bahan baku tersebut dapat dipenuhi dari dalam negeri, yang ditunjukkan dengan banyaknya pabrik penghasil urea setiap tahunnya. Pabrik-pabrik urea yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Pabrik Urea yang ada di Indonesia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas
		Produksi (ton/tahun)
PT. Petrokimia Gresik	Gresik, Jawa Timur	42.000
PT. Pupuk Kujang	Cikampek, Jawa Barat	55.000
PT. Pupuk Kalimantan Timur	Bontang, Kalimantan Timur	90.000
PT. Pupuk Iskandar Muda	Lhokseumawe, Aceh Utara	28.000
PT. Pupuk Sriwidjaja	Palembang, Sulawesi Selatan	15.000

Dapat dilihat pada Tabel 1.3 bahwasannya di Indonesia sendiri memiliki beberapa pabrik yang dapat menghasilkan urea dengan total keseluruhan hingga 230.000 ton per tahunnya.

1.2.3 Kebutuhan Produk di Indonesia

Melamin resin merupakan salah satu jenis resin termoset yang dibuat dari reaksi melamin dengan formaldehida, dan banyak digunakan sebagai perekat serta bahan pengikat dalam industri berbasis kayu. Melamin resin memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap air dan panas, serta daya rekat tinggi, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi pada panel kayu, *plywood*, *MDF*, *particle board*, dan berbagai produk *wood-based composites*. Dalam industri panel kayu, melamin resin berperan penting dalam meningkatkan kualitas, daya tahan, dan stabilitas produk akhir. Oleh karena itu, kebutuhan melamin resin di Indonesia sangat erat kaitannya dengan perkembangan industri panel kayu dan sektor turunannya, sekaligus mencerminkan tingkat konsumsi melamin sebagai bahan baku utama dalam proses produksi resin tersebut.

1.2.3.1 Impor (Supply)

Berdasarkan data impor melamin resin (Badan Pusat Statistik, 2026) di Indonesia, kebutuhan melamin resin dari tahun ke tahun mengalami fluktuasi angka. Meninjau dari data tersebut, maka dapat diperkirakan jumlah melamin resin di Indonesia pada tahun 2030 yang didapatkan dari perhitungan *discounted method* dengan rumus (Ulrich, 1984):

$$F = P (1+i)^n \tag{1.1}$$

Keterangan:

F = Nilai pada tahun ke-n

P = Besarnya data pada tahun terakhir data (ton)

i = rata-rata pertumbuhan data

n = Selisih tahun (tahun ke-n)

Tabel 1. 4 Data Impor Melamin Resin di Indonesia

Tahun	Berat (ton)	% Pertumbuhan
2021	8019	0
2022	9.862	+ 22,98 %
2023	8.381	- 15,02 %
2024	6.912	- 17,52 %
2025	9.035	+ 30,71 %
RATA - RATA		5,29 %

Berdasarkan data impor melamin resin di Indonesia tahun 2021–2025, jumlah impor mengalami fluktuasi setiap tahunnya. Kenaikan terbesar terjadi pada tahun 2025 sebesar 30,71%, sedangkan penurunan terbesar terjadi pada tahun 2024 sebesar 17,52%. Meskipun mengalami perubahan naik dan turun, rata-rata pertumbuhan impor mencapai 5,29% per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan melamin resin di Indonesia cenderung meningkat sehingga berpotensi mendukung pendirian pabrik melamin resin dalam negeri.

Pabrik melamin direncanakan akan didirikan pada tahun 2030. Perkiraan impor melamin resin pada tahun 2030 adalah:

$$\begin{aligned} F_{\text{impor}} &= P(1 + i)^n \\ &= 9.035,769 (1 + (5,29/100))^5 \\ &= 11.692,32 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan kebutuhan proyeksi impor melamin resin pada tahun 2030 adalah sebesar 11.692,32 ton.

1.2.3.2 Permintaan di Indonesia

Di Indonesia banyak industri industri yang menggunakan melamin resin sebagai bahan bakunya, seperti *wood panel adhesive*, *industrial coatings*, *decorative laminates*, *automotive* dan *molded parts*, serta pengguna spesialis lainnya yang menyebabkan kebutuhan melamin di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya.

Berdasarkan *Melamine Market Size and Share Analysis* pada (ReAnln, 2025) terdapat data permintaan melamin resin untuk indutri yang ada di Indonesia hal itu dapat dilihat pada tabel 1.5 berikut:

Tabel 1. 5 Demand Melamin Resin di Indonesia

<i>Segment</i>	Permintaan 2025 (ton)	CAGR (%)	Permintaan 2030 (ton)
<i>Wood Panels & Adhesives</i>	38.500	7 %	53.998,24
<i>Decorative Laminates</i>	27.500	7,5 %	39.479,81`
<i>Industrial Coatings</i>	16.500	7 %	23.142,1
<i>Automotive & Molded Parts</i>	16.500	8 %	24243,91
<i>Other Specialty Uses</i>	11.000	6,5 %	15.070,95
Total	110.000		155.935

Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan *discouted method* didapatkan bahwa permintaan melamin resin di Indonesia pada tahun 2030 adalah 155.935 ton sehingga dapat menentukan kapasitas pabrik dari melamin. Melamin resin merupakan resin termoset yang disintesis melalui reaksi kondensasi antara melamin dan formaldehida, di mana melamin berperan sebagai monomer utama pembentuk struktur polimer. Berbeda dengan resin modifikasi seperti MUF, pada melamin resin murni melamin merupakan komponen dominan dalam formulasi resin, dan kandungannya umumnya mencapai sekitar 50% berat atau lebih dari total padatan resin, tergantung pada rasio molar formaldehida terhadap melamin yang digunakan dalam proses

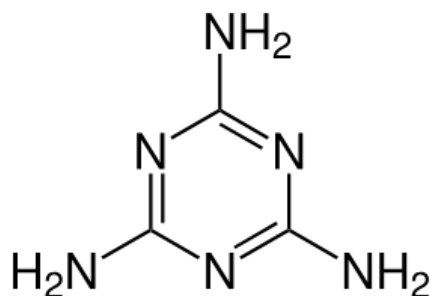
sintesis. Tingginya fraksi melamin ini berkontribusi langsung terhadap sifat ketahanan panas, kekerasan, dan stabilitas kimia yang menjadi karakteristik utama melamin resin dalam aplikasi industri (Pizzi., 2017). Dengan data tersebut maka kapasitas pabrik melamin dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Pabrik} &= (\text{Demand} - \text{Supply}) (\text{Kandungan Melamin}) \\ &= (155.935 - 11.692,32) 50\% \\ &= 72.121,34 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

1.3 Tinjauan Pustaka

Melamin merupakan senyawa organik heterosiklik aromatik yang mengandung nitrogen dengan rumus molekul $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$. Senyawa ini termasuk dalam golongan triazin dan memiliki struktur cincin heksagonal dengan gugus amino pada posisi 2, 4, dan 6. Melamin berbentuk kristal putih, tidak berbau, dan memiliki titik lebur yang tinggi yaitu sekitar 354°C (Ullmann's, 2012). Melamin adalah senyawa kimia berbasis nitrogen yang memiliki kandungan nitrogen sangat tinggi yaitu sekitar 66% dari berat molekulnya, (Yanuartono, 2017)

Melamin pertama kali disintesis oleh ahli kimia Jerman, Justus von Liebig pada tahun 1834 melalui pemanasan amonium tiosianat. Namun pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20 tepatnya pada tahun 1885 A.W Von Hoffman mempublikasikan struktur molekul melamin yang di gambarkan pada gambar 1.1:



Gambar 1. 1 Struktur Kimia Melamin

(Ullmann's, 2012)

Gambar 1.1 menjelaskan tentang struktur kimia dari melamin yang berhasil ditemukan oleh ahli kimia yang bernama A.W Von Hoffman. Pada awal tahun 1940, Mackay menemukan bahwa melamin juga dapat disintesis dari urea pada suhu 400°C dengan maupun tanpa katalis. Sejak saat itu, melamin mulai diproduksi menggunakan bahan baku urea dan penggunaan cyanamide sebagai bahan baku dihentikan pada akhir dekade 1960-an. Proses pembentukan melamin dari urea terjadi melalui reaksi pirolisis pada suhu tinggi (350-450°C) dengan reaksi:



(Syah, 2016)

Melamin memiliki nama IUPAC *1,3,5-Triazine-2,4,6-Triamine* dengan berat molekul 126,12 g/mol. Struktur molekulnya terdiri dari cincin triazin (cincin heksagonal dengan tiga atom karbon dan tiga atom nitrogen yang tersusun berselang-seling) dan tiga gugus amino (-NH₂) yang terikat pada posisi 2, 4, dan 6. Struktur ini memiliki sistem ikatan rangkap terkonjugasi yang terdelokalisasi memberikan sifat aromatik dan stabilitas tinggi dengan simetri. Sifat-sifat unik melamin meliputi titik lebur sangat tinggi (354°C), stabilitas termal yang baik, kemampuan membentuk jaringan ikatan hidrogen yang kuat, kelarutan rendah dalam air dingin tetapi meningkat

pada air panas, serta kemampuan membentuk kompleks dengan berbagai senyawa melalui ikatan hidrogen (Ullmann's, 2012).

Melamin memiliki berbagai fungsi dan kegunaan dalam industri, terutama sebagai bahan baku pembuatan resin melamin-formaldehida (MF resin) yang memiliki sifat tahan panas, tahan air, dan permukaan keras untuk produksi perabotan rumah tangga, laminasi, dan material konstruksi (Ullmann's, 2012). Resin melamin juga digunakan sebagai perekat pada pembuatan kayu lapis, papan partikel, dan MDF dalam industri furniture karena memberikan kekuatan ikatan tinggi dan durabilitas baik (Kusumawati, 2018). Aplikasi lainnya meliputi formulasi cat dan pelapis permukaan untuk memberikan *finishing* tahan lama dan mengkilap, bahan penguat kertas dan tekstil untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap kerut, serta sebagai retardan api (*flame retardant*) dalam berbagai material yang memerlukan ketahanan terhadap api (Wijaya, 2019).

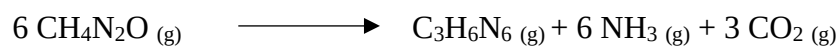
Aplikasi industri terbesar melamin adalah dalam pembuatan resin melamin-formaldehida melalui reaksi polikondensasi yang menghasilkan produk untuk laminat dekoratif, peralatan makan, pelapis furniture, dan bahan perekat industri kayu. Pada sekitar tahun 1960, melamin diproduksi dari *dicyanamide*. Proses ini berlangsung didalam *autoclave* dengan kondisi operasi yaitu tekanan 10 Mpa dan suhu 400°C dengan adanya gas amonia. (Syah, 2016).

Meskipun memiliki berbagai aplikasi industri yang bermanfaat, melamin tidak boleh digunakan dalam produk pangan. (Yanuartono, 2017) melaporkan bahwa kontaminasi melamin dalam produk pangan dapat menyebabkan masalah kesehatan serius seperti pembentukan batu ginjal, gagal ginjal akut, dan bahkan kematian pada kasus parah. Oleh karena itu, penggunaan melamin harus dibatasi hanya untuk aplikasi industri yang telah disetujui dan diatur oleh regulasi ketat, terutama dalam industri

resin, perekat, *coating*, tekstil, dan *flame retardant* yang memberikan manfaat besar bagi berbagai sektor industri tanpa membahayakan kesehatan manusia.

1.3.1 Macam-macam Proses Pembuatan Melamin

Melamin dapat disintesis dari urea pada suhu 390–410 °C. Reaksi keseluruhan yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:



(Ullman, 1990)

Reaksi ini bersifat endotermik dengan kebutuhan energi sebesar ±629 kJ per mol melamin yang dihasilkan, apabila menggunakan urea cair pada suhu 135°C sebagai bahan baku.

Adapun secara umum, proses produksi melamin dari urea dapat dibagi ke dalam dua kategori utama, yaitu:

1. Proses katalitik bertekanan rendah
2. Proses non-katalitik bertekanan tinggi

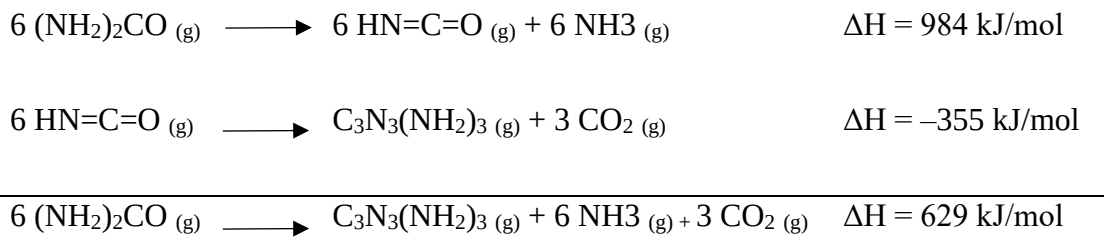
Masing-masing tipe proses, baik tekanan tinggi maupun tekanan rendah, pada dasarnya terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu tahapan sintesis, tahapan pemisahan dan pemurnian produk, serta tahapan pengolahan gas buang. (Ullman, 1990)

1.3.1.1 Proses Katalitik Bertekanan Rendah

Proses melamin bertekanan rendah umumnya menggunakan unggun katalis terfluidisasi (*fluidized catalyst bed*) pada tekanan mulai dari atmosfer hingga sekitar 1 MPa, dengan suhu operasi 390–410 °C. Gas fluidisasi yang digunakan dapat berupa amonia murni, atau campuran amonia–karbon dioksida yang terbentuk selama reaksi berlangsung. Katalis yang dipakai biasanya berbasis alumina atau material tipe silika–alumina.

Produk melamin yang terbentuk meninggalkan reaktor dalam fasa gas bersama aliran gas fluidisasi. Pemisahan melamin dari campuran gas (amonia dan karbon dioksida) dilakukan melalui proses pendinginan (*quenching*), baik dengan menyemprotkan air sehingga diikuti dengan kristalisasi, maupun dengan menggunakan gas reaksi dingin sehingga melamin mengalami desublimasi.

Dalam proses katalitik ini, tahap reaksi pertama adalah dekomposisi urea menjadi asam isosianat (HNCO) dan amonia. Selanjutnya, asam isosianat akan mengalami transformasi menjadi melamin melalui tahapan berikut:



Hasil (*yield*) melamin dari proses ini berkisar antara 90–95% berdasarkan umpan urea. Produk samping yang terbentuk meliputi melam, melem, dan melon, serta senyawa oksotriazin seperti *ammeline*, *ammelide*, dan asam sianurat. Selain itu, ureidotrizine juga dapat terbentuk sebagai hasil reaksi antara melamin dengan asam isosianat.

Sebagian produk samping dihasilkan langsung di dalam reaktor selama tahap sintesis, sementara sebagian lainnya terbentuk pada tahap pemulihan dan pemurnian melamin, misalnya akibat reaksi deaminasi atau hidrolisis. Secara komersial, proses melamin bertekanan rendah yang saat ini digunakan di dunia meliputi proses Badische Anilin und Soda Fabrik, proses Chemie Linz, dan proses Stamicarbon.(Ullman, 1990)

a. Proses BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik)

Proses BASF merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk produksi melamin dari urea dengan sistem non-katalitik pada tekanan rendah. Reaktor yang digunakan dalam proses ini adalah reaktor satu tahap (*One-Stage Reactor*) tipe *fluidized*

bed reactor yang beroperasi pada suhu sekitar 395–400 °C dan tekanan atmosferik. Pada proses ini, lelehan urea diumpankan ke dalam reaktor melalui beberapa nozel, bersama dengan gas fluidisasi berupa campuran amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2).

Reaksi dekomposisi urea terjadi dalam fase gas, di mana sebagian urea terurai menjadi isosianat dan amonia, kemudian bereaksi lebih lanjut menghasilkan senyawa-senyawa antara seperti biuret, triuret, dan akhirnya melamin ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$). Proses ini berlangsung dengan bantuan katalis padat berupa alumina (Al_2O_3) yang berperan meningkatkan laju reaksi dan stabilitas sistem fluidisasi. Temperatur reaktor dijaga konstan melalui sirkulasi *molten salt* panas (salt bath) dalam koil pemanas internal, sehingga konversi urea dapat berlangsung optimal tanpa menyebabkan sintering partikel katalis.

Gas produk yang keluar dari reaktor mengandung campuran melamin gas, urea yang tidak bereaksi, biuret, amonia, dan karbon dioksida. Partikel katalis yang terbawa aliran gas dipisahkan terlebih dahulu menggunakan siklon internal di dalam reaktor. Campuran gas kemudian dialirkan ke expansion valve untuk menurunkan tekanan, sebelum masuk ke *desublimier*. Pada tahap ini, gas melamin didinginkan sampai sekitar 150-200 °C, sehingga melamin mengalami desublimasi menjadi kristal padat. Lebih dari 99 % melamin dapat dikristalkan pada tahap ini.

Kristal melamin yang terbentuk selanjutnya dipisahkan dari campuran gas menggunakan *cyclone separator*. Gas yang keluar dari *cyclone* kemudian dialirkan menuju *scrubber (washing tower)* untuk menangkap sisa urea yang belum bereaksi. Gas hasil pemisahan tersebut selanjutnya digunakan kembali sebagai gas fluidisasi pada reaktor serta sebagai media pendingin pada *desublimier*, sehingga proses berlangsung secara tertutup dan lebih hemat energi. Produk akhir melamin yang

dihasilkan memiliki tingkat kemurnian tinggi, yaitu mencapai 99,9%, sehingga memenuhi standar kualitas industri. (Ullman, 1990)

b. Proses Chemie Linz

Proses Chemie Linz merupakan salah satu teknologi produksi melamin dengan sistem dua tahap reaksi utama. Pada tahap pertama, urea cair didekomposisi dalam sebuah *fluidized sand-bed reactor* pada suhu sekitar 350 °C dan tekanan 3,45 atm sehingga terbentuk amonia dan asam isosianat. Amonia di sini juga berfungsi sebagai *fluidizing gas* untuk menjaga kestabilan operasi. Panas yang dibutuhkan untuk reaksi dekomposisi ini dipasok melalui lelehan garam panas (*molten salt*) yang disirkulasikan melewati koil pemanas internal. Gas hasil dekomposisi kemudian dialirkan menuju *Fixed-Bed Catalytic Reactor*, tempat terjadinya konversi asam isosianat menjadi melamin pada suhu sekitar 450 °C dan tekanan yang mendekati kondisi atmosfer.

Produk reaksi berupa melamin fase gas selanjutnya dipisahkan melalui proses *quenching* dengan menggunakan air dan *mother liquor* dari *centrifuge*. *Quencher* dirancang agar bekerja dengan sangat cepat sehingga dapat mencegah terjadinya hidrolisis melamin menjadi turunan samping seperti *ammeline* dan *ammelide*. Suspensi melamin yang terbentuk dari *quencher* kemudian didinginkan lebih lanjut untuk menyelesaikan proses kristalisasi. Setelah melewati tahap sentrifugasi, kristal melamin dikeringkan, digiling, dan disimpan sebagai produk akhir.

Gas buang dari unit *quencher* selanjutnya dialirkan menuju *absorber*. Pada tahap ini, karbon dioksida dihilangkan dalam bentuk ammonium karbamat dengan cara pencucian menggunakan larutan karbamat encer yang berasal dari bagian pengolahan gas buang. Gas amonia basah yang tersisa dikeringkan dengan tambahan make-up ammonia. Sebagian dari amonia yang diperoleh kemudian dikompresi kembali dan didaur ulang menuju reaktor dekomposisi urea, sementara sebagian lainnya diekspor sebagai produk samping. Dengan demikian, Chemie Linz Process merupakan proses

melamin berbasis katalitik bertekanan rendah yang efisien, dengan sistem resirkulasi amonia untuk meningkatkan pemanfaatan bahan baku serta mengurangi emisi gas buang. (Ullman, 1990)

c. Proses Stamicarbon

Proses DSM Stamicarbon memiliki kemiripan dengan proses BASF karena sama-sama menggunakan reaktor satu tahap (*One-Stage Reactor*) dengan sistem *Fluidized Bed*. Proses ini berlangsung pada tekanan sekitar 6,91 atm dan suhu operasi sekitar 400 °C. Amonia murni digunakan sebagai *fluidizing gas*, sedangkan katalis yang digunakan adalah campuran silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Lelehan urea diumpankan ke bagian bawah reaktor, dan gas amonia yang masuk dari bawah akan memfluidisasi lapisan katalis tersebut. Suhu reaktor dijaga konstan dengan sirkulasi *molten salt* yang melewati koil pemanas di dalam *bed* katalis.

Produk gas yang keluar dari reaktor mengandung melamin, amonia, karbon dioksida, serta sisa urea dan produk samping. Campuran gas ini kemudian didinginkan (*quenching*) dalam dua tahap: pertama di *quench cooler*, lalu di *scrubber*, menggunakan *mother liquor* yang berasal dari unit *centrifuge*. Tahapan *quenching* ini berfungsi untuk mencegah dekomposisi atau hidrolisis melamin menjadi *ammelide* dan *ammeline*.

Dari *scrubber*, suspensi melamin dialirkan ke dalam *KO drum (knock-out drum)* untuk memisahkan sebagian amonia dan karbon dioksida yang masih terlarut. Gas hasil pemisahan kemudian dialirkan ke *absorber*, di mana gas-gas tersebut bereaksi membentuk ammonium karbamat ($\text{NH}_4\text{COONH}_2$). Suspensi melamin cair yang tersisa dialirkan ke *mixing vessel*, kemudian dicampur dengan karbon aktif untuk menghilangkan pengotor. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke *precoat filter* untuk penyaringan lanjutan.

Selanjutnya, air dalam filtrat diuapkan menggunakan *evaporator*, dan larutan pekat yang dihasilkan dikristalisasi dalam *crystallizer*. Kristal melamin yang terbentuk dipisahkan dari *mother liquor* menggunakan *centrifuge*, kemudian dikeringkan hingga diperoleh produk melamin dengan kemurnian tinggi. (Ullman, 1990)

1.3.1.2 Proses Non-Katalitik Bertekanan Tinggi

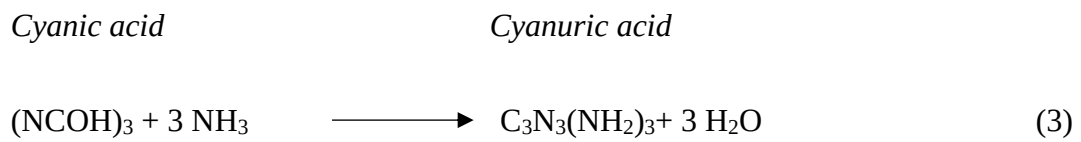
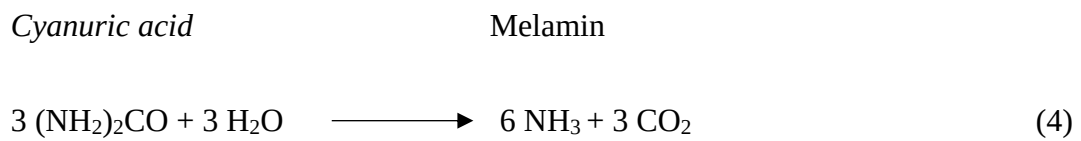
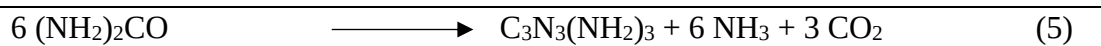
Pada proses tekanan tinggi, reaksi berlangsung pada tekanan lebih dari 7 MPa dan suhu di atas 370°C. Secara umum, lelehan urea diumpankan ke dalam reaktor bertekanan tinggi, di mana sebagian urea akan terdekomposisi dan bereaksi membentuk melamin. Hasil reaksi berupa campuran lelehan antara urea dan melamin. Proses ini mampu menghasilkan produk melamin dengan tingkat kemurnian lebih dari 94%.

Energi panas yang diperlukan untuk mempertahankan suhu reaksi biasanya dipasok melalui pemanas listrik (*electric heater*) atau dengan sistem perpindahan panas tidak langsung menggunakan lelehan garam panas sebagai media penghantar panas. Dalam sistem ini, pengendalian suhu sangat penting untuk menjaga kestabilan reaksi dan mencegah terjadinya dekomposisi lanjut yang dapat menghasilkan senyawa samping seperti biuret, *ammelide*, dan *cyanuric acid*.

Proses tekanan tinggi ini merupakan metode yang lebih konvensional dibandingkan proses bertekanan rendah, dengan keuntungan utama berupa laju reaksi yang cepat dan konversi urea yang tinggi, meskipun membutuhkan konsumsi energi yang lebih besar serta peralatan bertekanan tinggi yang relatif mahal. (Ullman, 1990)

Mekanisme reaksi yang terjadi sebagai berikut:





(Ullman, 1990)

Pada proses dengan tekanan tinggi dikenal ada 3 macam proses, yaitu:

a. Proses Melamin Chemical

Proses produksi melamin dilakukan secara kontinyu menggunakan metode satu tahap bertekanan tinggi, dengan konversi mencapai 99,5% dan menghasilkan produk akhir berkualitas tinggi dengan kemurnian antara 96 hingga 99,5%. Urea cair yang telah dipanaskan terlebih dahulu hingga sekitar 150 °C diumpankan ke dalam reaktor fase cair. Reaktor ini beroperasi pada suhu 370–425 °C dan tekanan tinggi 108,6-148 atm. Di dalam reaktor, urea mengalami dekomposisi dan reaksi kimia membentuk melamin cair, disertai pembentukan gas samping berupa amonia dan karbon dioksida.

Setelah reaksi berlangsung, campuran hasil reaksi dialirkan ke unit pemisahan gas (*gas separator*). Di unit ini, melamin cair dipisahkan dari gas-gas samping dan terkumpul di bagian bawah separator. Suhu dan tekanan separator dijaga hampir sama dengan kondisi reaktor untuk menjaga kestabilan fasa produk. Gas-gas seperti amonia dan karbon dioksida, yang juga mengandung uap melamin, dikeluarkan dari bagian atas dan diarahkan ke *scrubber* urea untuk pemisahan lebih lanjut dan pemanfaatan panas sisa.

Selanjutnya, melamin cair yang telah dipisahkan dari gas akan dialirkan menuju unit pendingin produk. Unit ini menggunakan amonia cair untuk mendinginkan

sekaligus mengkristalkan melamin pada kondisi suhu dan tekanan terkontrol guna meminimalkan pembentukan senyawa pengotor seperti melam dan melem. Produk padat yang dihasilkan kemudian dilewatkan melalui serangkaian *hopper* penurunan tekanan, dan apabila diperlukan untuk meningkatkan kemurnian, dapat menjalani proses rekristalisasi. (Ullman, 1990)

Sementara itu, aliran *off-gas* yang terdiri dari amonia dan karbon dioksida bertekanan tinggi (>10 MPa) dapat digunakan kembali sebagai umpan ke pabrik urea atau diolah dalam *scrubber* monoetanolamina (MEA) untuk memisahkan amonia dan karbon dioksida. Sistem ini dirancang untuk efisiensi energi dengan memanfaatkan kembali panas dan bahan kimia, menjadikan proses ini tidak hanya efektif dalam menghasilkan melamin berkualitas tinggi tetapi juga efisien secara energi dan material.

b. Proses Montedison (Ausind)

Proses Montedison merupakan salah satu metode produksi melamin yang bekerja pada suhu sekitar 370°C dan tekanan 69,1 atm. Suhu tinggi ini dipertahankan menggunakan sistem pemanas berbasis *molten salt* yang mengalir melalui tabung konsentris tipe *bayonet*. Urea cair yang telah dipanaskan hingga 150°C dialirkan ke dalam reaktor bersama dengan amonia panas. Di dalam reaktor, campuran ini mengalami reaksi selama waktu tinggal sekitar 20 menit untuk membentuk melamin.

Setelah reaksi berlangsung, campuran keluar dari reaktor dan tekanannya diturunkan hingga 2,5 MPa. Selanjutnya, campuran dialirkan ke unit quencher pada suhu 160°C dan dicampur dengan larutan amonia serta karbon dioksida untuk mengendapkan melamin. Campuran gas jenuh amonia dan CO_2 yang keluar dari bagian atas quencher kemudian di-recycle kembali ke pabrik urea atau pupuk sebagai bahan baku. Sementara itu, slurry melamin yang terbentuk tetap berada di dalam quencher agar residu urea serta produk samping seperti biuret dan triuret dapat terurai menjadi amonia dan karbon dioksida.

Slurry kemudian dialirkan menuju unit steam stripper untuk menghilangkan sisa amonia dan karbon dioksida. Gas buangan dari stripper diserap menggunakan air melalui kolom absorpsi, kemudian larutannya didaur ulang kembali ke quencher. Di sisi lain, slurry bebas gas yang keluar dari bagian bawah stripper diencerkan menggunakan mother liquor untuk melarutkan sisa melamin, kemudian ditambahkan natrium hidroksida guna membantu proses pelarutan dan klarifikasi. Tahap klarifikasi dilakukan dengan menggunakan karbon aktif untuk menghilangkan pengotor organik maupun warna.

Larutan yang telah jernih selanjutnya dikristalisasi di dalam kristalisator yang beroperasi secara adiabatik di bawah kondisi vakum sehingga menghasilkan kristal melamin berkualitas tinggi. Kristal yang terbentuk dipisahkan dari mother liquor menggunakan rotary filter, kemudian dikeringkan dengan conveyor dan pengering pneumatik sebelum disimpan sebagai produk akhir. Proses ini tidak hanya menghasilkan melamin dengan efisiensi tinggi, tetapi juga menerapkan sistem daur ulang panas dan bahan secara optimal untuk meningkatkan efisiensi energi serta meminimalkan limbah. (Ullman, 1990)

c. Proses Nissan

Proses Nissan merupakan metode produksi melamin yang beroperasi pada suhu tinggi, yakni 400 °C dan tekanan 98,7 atm. Salah satu keunikan dari proses ini adalah penggunaan pencucian *off-gas* reaktor dengan urea cair. Urea dilelehkan dan diberi tekanan setara reaktor, lalu dialirkan melalui menara pencuci bertekanan tinggi (*washing tower*), di mana urea tersebut menyerap sisa melamin dan urea yang tidak bereaksi dari gas buangan reaktor. Setelah itu, urea mengalir kembali ke reaktor secara gravitasi. Selain urea, amonia panas juga diinjeksikan sebagai reaktan utama.

Hasil keluaran dari reaktor masuk ke tangki level untuk dipisahkan menjadi dua fasa: gas dan cair. Fasa gas kembali melewati *washing tower* sebelum diproses lebih

lanjut di unit pengolahan gas. Sementara itu, fase cair yang terdiri dari lelehan melamin dicampur dengan amonia gas panas, kemudian dialirkan ke dalam *cushion vessel*. Di sana, campuran dibiarkan dalam kondisi tertentu untuk memungkinkan produk samping seperti biuret dan triuret mengalami konversi ulang menjadi melamin, sehingga meningkatkan efisiensi proses.

Setelah tahap penuaan, lelehan melamin diquenching menggunakan amonia cair pada tekanan tinggi. Dalam tahap ini, melamin larut membentuk larutan dengan konsentrasi 20–30% berat. Larutan tersebut dipertahankan pada suhu 180 °C di dalam *quencher* untuk memastikan dekomposisi sempurna dari pengotor yang tersisa. Proses selanjutnya melibatkan pemisahan amonia dari larutan menggunakan *stripper* yang beroperasi pada tekanan 1,5 MPa. Amonia yang terlepas kemudian di-*recycle* ke tahap awal, dan larutan melamin disaring sebelum masuk ke tahap kristalisasi.

Kristalisasi dilakukan secara bertahap dalam dua buah kristalisator yang dioperasikan secara seri. Melamin dalam bentuk kristal dipisahkan dari *mother liquor* menggunakan sentrifugal, kemudian dikeringkan dan dihancurkan sebelum disimpan sebagai produk akhir. Untuk memaksimalkan hasil, *mother liquor* masih diproses lebih lanjut. Proses ini dimulai dengan penghilangan amonia, di mana senyawa seperti oksoaminotiazin mengendap dan menghasilkan *slurry* yang dibasakan sebelum dialirkan ke kristalisator ketiga. Di sana, sebagian melamin tambahan berhasil dikristalkan kembali dan dikembalikan ke kristalisator kedua.

Langkah akhir pengolahan melibatkan penurunan pH *mother liquor*, yang menyebabkan oksoaminotiazin mengendap dan dipisahkan melalui dekantasi. Cairan bening yang tersisa kemudian dimanfaatkan kembali untuk menyerap amonia yang keluar dari kristalisator. Sistem ini secara keseluruhan didesain dengan pendekatan daur ulang yang tinggi, baik dalam pemanfaatan urea, amonia, maupun panas proses,

sehingga mendukung efisiensi energi dan minim limbah dalam produksi melamin skala industri (Ullman, 1990).

1.3.1.3 Perbandingan Proses

Tabel perbandingan beberapa proses pembentukan melamin yang telah dikembangkan dapat dilihat di Tabel 1.6, baik pada proses katalitik bertekanan rendah maupun proses non-katalitik bertekanan tinggi. Perbandingan ini meliputi bahan baku, jenis reaktor, kondisi operasi, konversi, tekanan, serta penggunaan katalis sehingga dapat diketahui karakteristik dan perbedaan utama dari masing-masing proses.

Tabel 1. 6 Pertimbangan Proses Pembentukan Melamin

No.	Parameter	Proses Katalitik Bertekanan Rendah			Proses Non-Katalitik Bertekanan Tinggi		
		BASF	Chemie Linz	Stamicarbon	Melamine Chemical Process	Montedison	Nissan
1	Bahan Baku	Urea	Urea	Urea	Urea	Urea	Urea
2	Reaktor	<i>Fluidized Bed (One-Stage)</i>	<i>Fluidized Sand-Bed + Fixed-Bed Catalytic Reactor (Two-Stage)</i>	<i>Fluidized Bed (One-Stage)</i>	<i>Fluidized Bed (One-Stage)</i>	<i>Fluidized Bed (One-Stage)</i>	<i>Fluidized Bed (One-Stage)</i>
3	Suhu	395–400 °C	350–450 °C	400 °C	370–425 °C	370 °C	400 °C
4	Konversi	95 %	95 %	97 %	99,5 %	96 %	>94 %
5	Tekanan	3 atm	3,45 atm	6,91 atm	108,6–148 atm	69,1 atm	98,7 atm
6	Katalis	Alumina (Al ₂ O ₃)	Alumina (Al ₂ O ₃)	Silika–Alumina	-	-	-

(Ullmann's, 2012)

1.3.2 Metode Proses

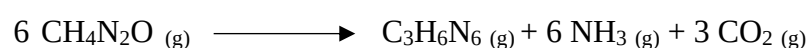
Ditinjau dari beberapa proses pembuatan melamin, dipilih proses BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik). Proses ini digunakan karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

- a. Proses BASF beroperasi pada tekanan rendah. Proses dengan tekanan rendah lebih aman, lebih mudah dikontrol, serta meminimalkan risiko kebocoran dan kerusakan peralatan dibandingkan proses bertekanan tinggi.
- b. Proses BASF memiliki selektivitas yang baik terhadap pembentukan melamin dan menghasilkan produk samping dalam jumlah rendah. Reaktor *fluidized bed* mengurangi risiko *hot spot* sehingga *fouling* lebih sedikit, meningkatkan stabilitas operasi jangka panjang.
- c. Proses BASF beroperasi pada tekanan rendah, sehingga konsumsi energi relatif lebih kecil dibandingkan proses lain yang menggunakan tekanan tinggi. Hal ini membuat proses lebih efisien dari sisi ekonomi maupun operasional.
- d. Proses BASF memerlukan jumlah dan jenis peralatan yang lebih sedikit dibandingkan proses lain yang menggunakan *two-stage reactor*, sehingga biaya investasi awal serta biaya perawatan lebih rendah.
- e. Meskipun merupakan teknologi yang telah lama dikembangkan, proses BASF telah terbukti stabil, aman, dan andal dalam menghasilkan produk melamin secara kontinu dengan efisiensi konversi urea yang tinggi.

1.3.3 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.3.3.1 Tinjauan Termodinamika

Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan melamin adalah sebagai berikut:



Diketahui nilai ΔH_f masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

$$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} = -333,13 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6 = -71,72 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{NH}_3 = -45,94 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{CO}_2 = -393,52 \text{ kJ/mol}$$

(NIST, 2025)

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = \Delta H^\circ \text{ Produk} - \Delta H^\circ \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = [(-71,72) + 6(-45,94) + 3(-393,52)] - [6(-333,13)]$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = 470,86 \text{ kJ/mol}$$

Dari perhitungan entalpi panas, didapatkan nilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi berjalan secara endotermis.

Diketahui nilai ΔG_f masing masing komponen sebagai berikut:

$$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} = -158,2 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6 = 339,7 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{NH}_3 = -16,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{CO}_2 = -394,37 \text{ kJ/mol}$$

(Aspen Technology, Inc., 2014)

$$\Delta G^\circ \text{ reaksi} = \Delta G^\circ \text{ Produk} - \Delta G^\circ \text{ Reaktan}$$

$$\Delta G^\circ \text{ reaksi} = [(339,7) + 6(-16,4) + 3(-394,37)] - [6(-158,2)]$$

$$= 7,39 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = -R \cdot T \ln K$$

$$\ln K_0 = -\frac{\Delta G^\circ}{R \cdot T}$$

$$\ln K_0 = - \frac{7,39 \text{ kJ/mol}}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot K \cdot 298,15 \text{ K}}$$

$$\ln K_0 = -2,981$$

$$K_0 = 0,0507$$

K pada suhu 395°C = 668,15 K

$$\ln \frac{K_1}{K_0} = - \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\begin{aligned} \ln \frac{K_1}{K_0} &= - \frac{470,86}{8,314 \times 10^{-3}} \left(\frac{1}{668,15} - \frac{1}{298,15} \right) \\ &= 105,22 \end{aligned}$$

$$\ln K_1 = 105,22 + \ln K_0$$

$$\begin{aligned} \ln K_1 &= 105,22 + (-2,981) \\ &= 102,239 \end{aligned}$$

$$K_1 = 2,52 \times 10^{44}$$

Nilai konstanta kesetimbangan (K) sangat besar sehingga reaksi pembentukan melamin pada suhu tinggi berlangsung hampir sepenuhnya ke arah produk dan merupakan reaksi searah (*irreversible*).

1.3.3.2 Tinjauan Kinetika

Sebagai dasar analisis kinetika reaksi, digunakan data eksperimental yang dilaporkan dalam US Patent No. 4,156,080. Data ini memberikan informasi mengenai pengaruh kondisi operasi terhadap konversi dan *yield* produk. Namun, pada penelitian ini hanya digunakan sebagian data yang relevan, yaitu percobaan A, B, C, dan D, sebagaimana ditampilkan pada tabel 1.7 berikut:

Tabel 1. 7 Data Experiment Pada US Patents No. 4,156,080

<i>Experiment</i>	<i>Urea</i>	<i>Atomization Ammonia</i>	<i>Fluidization Ammonia</i>	<i>NH₃/Urea</i>	<i>Catalyst</i>	<i>Height of bed in upper zone</i>	<i>P</i>	<i>T Upper zone</i>	<i>ΔT lower/upper</i>	<i>yield</i>	<i>Retention time of catalyst upper zone</i>
	g/sec	g/sec	g/sec	m³(NTP)/kg	kg	m	Atm abs	°C	°C	%	Sec
A	660	390	476	1,7	5600	0,5	6,4	390	7	96	9
B	660	395	480	1,7	6100	1,0	6,3	390	5	99,5	20
C	660	400	470	1,7	6800	2,0	6,5	391	6	99,5	40
D	665	400	466	1,7	7400	2,7	6,4	391	3,5	99	54

1) Reaksi Pembentukan Melamin

Reaksi utama dalam proses ini adalah dekomposisi urea menjadi melamin yang berlangsung melalui mekanisme reaksi kompleks pada fase gas dengan bantuan katalis padat. Secara keseluruhan, reaksi dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi ini merupakan reaksi endotermik yang berlangsung pada temperatur tinggi, umumnya di atas 350°C. Dalam prosesnya, urea terlebih dahulu mengalami dekomposisi menjadi senyawa antara seperti asam sianat (HNCO) yang kemudian mengalami polimerisasi dan siklisasi membentuk melamin. Selain menghasilkan produk utama berupa melamin, reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa amonia (NH₃) dan karbon dioksida (CO₂). Oleh karena itu, pengendalian kondisi operasi seperti temperatur, waktu tinggal, dan distribusi katalis sangat penting untuk memaksimalkan yield melamin serta meminimalkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan.

2) Desain Peralatan Reaktor *Fluidized Bed*

Perancangan reaktor *fluidized bed* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kinetika reaksi dan neraca massa pada reaktor alir. Reaktor ini diasumsikan beroperasi secara kontinyu dengan pencampuran yang baik antara fase gas dan padat, sehingga performanya dapat didekati sebagai reaktor ideal berbasis katalis.

Hubungan antara jumlah katalis yang dibutuhkan dengan konversi reaksi dinyatakan melalui persamaan desain sebagai berikut:

$$W = \frac{F_{A0} X}{-r_A} \quad (1.2)$$

- Dimana: W = Massa katalis (kg)
- F_{A0} = Laju alir molar urea (mol/s)
- X = Konversi urea
- $-r_A$ = laju reaksi per satuan massa katalis

Persamaan ini menunjukkan bahwa kebutuhan katalis berbanding lurus dengan laju alir umpan dan konversi yang diinginkan, serta berbanding terbalik dengan laju reaksi. Dengan demikian, semakin besar laju reaksi, maka jumlah katalis yang dibutuhkan akan semakin kecil. Persamaan ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan ukuran reaktor, khususnya dalam menghitung massa katalis dan selanjutnya dimensi reaktor *fluidized bed* agar mencapai target konversi yang diinginkan.

3) Perhitungan nilai k dari orde 0, orde 1, dan orde 2

a. Perhitungan orde 0

Untuk reaksi orde nol, laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi reaktan, sehingga persamaan laju reaksinya dinyatakan sebagai $(-r_A) = k$, di mana k adalah konstanta laju reaksi. Maka setelah di substitusi pada persamaan desain reaktor *fluidized bed* maka hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.8 dibawah ini:

Tabel 1. 8 Hasil Perhitungan Nilai k pada Orde 0

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	k (mol/sec.kg)
5600	0,96	11	0,001886
6100	0,995	11	0,001794
6800	0,995	11	0,001609
7400	0,99	11,083	0,001483

b. Perhitungan Orde 1

Untuk reaksi orde nol, laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi reaktan, sehingga persamaan laju reaksinya dinyatakan sebagai $(-r_A) = k C_A$, di mana k adalah konstanta laju reaksi dan C_A . Maka setelah di substitusi pada persamaan desain reaktor *fluidized bed* maka hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.9 dibawah ini:

Tabel 1. 9 Perhitungan Nilai k Orde 1

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	Y _A	C _A (mol/kg)	k (1/sec)
A	0,96	11	0,2821	0,0084	0,2244
B	0,995	11	0,2803	0,0082	0,2182
C	0,995	11	0,2846	0,0086	0,1872
D	0,99	11,083	0,2879	0,0086	0,1731

c. Perhitungan Orde 2

Untuk reaksi orde nol, laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi reaktan, sehingga persamaan laju reaksinya dinyatakan sebagai $(-r_A) = k C_A^2$, di mana k adalah konstanta laju reaksi dan C_A . Maka setelah di substitusi pada persamaan desain reaktor *fluidized bed* maka hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.10 dibawah ini:

Tabel 1. 10 Perhitungan Nilai k Orde 2

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	Y _A	C _A (mol/kg)	k (kg/mol.s)
A	0,96	11	0,2821	0,0084	26,7
B	0,995	11	0,2803	0,0082	26,53
C	0,995	11	0,2846	0,0086	21,76

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	Y _A	C _A (mol/kg)	k (kg/mol.s)
D	0,99	11,083	0,2879	0,0086	20,21

4) Penentuan Nilai k

Untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi (k) yang paling representatif, digunakan parameter statistik berupa standar deviasi dan *z-score* dengan rumus berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(k_i - k_{rata-rata})^2}{n - 1}} \tag{1.3}$$

Dimana: S = Standar deviasi

K_i = Nilai k experiment

N = Banyak data

$$Z_{score} = \frac{k_i - k_{rata-rata}}{S} \tag{1.4}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa orde 0 memiliki nilai standar deviasi dan *z-score* paling kecil dibandingkan orde lainnya. Oleh karena itu, nilai konstanta laju reaksi (k) yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah nilai k rata-rata dari orde 0 yaitu 0,001693076 mol/sec.kg

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Spesifikasi Umum Melamin

Rumus molekul	: C ₃ H ₆ N ₆
IUPAC	: 1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine
Berat molekul	: 126,12 g/mol
Wujud	: padat
Bentuk	: serbuk putih (kristalin halus)
pH	: 7–8 (larutan 32 g/L, 20 °C)
Titik leleh	: 345 °C
Titik didih	: 354 °C
Titik nyala (<i>flash point</i>)	: 300 °C (tertutup)
Titik penyalaaan otomatis	: > 400 °C (pada 1,013 hPa)
Tekanan uap	: 66,65 hPa (pada 315 °C)
Kelarutan dalam air	: 3,48 g/L (20 °C, OECD Test Guideline 105)
Log Pow (n-oktanol/air)	: –1,22 (22 °C)
Density (kepadatan relatif)	: 1,57 g/cm ³ (20 °C)
Ukuran Partikel	: 100 mikron

(MSDS Melamin – ChemicalBook, 2025)

2.1.2 Sifat Kimia Melamin

- Bau: Tidak berbau
- Stabilitas: Stabil pada kondisi penyimpanan normal (suhu ruang, kering, tertutup rapat).

- Kondisi yang Harus Dihindari: Hindari pemanasan berlebih dan pembentukan debu. Pemanasan kuat dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara.
- Bahan yang Tidak Kompatibel: Asam kuat, zat pengoksidasi kuat (misalnya klorat, perklorat, atau nitrat).
- Produk Penguraian Berbahaya: Oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), amonia (NH_3), dan hidrogensianida (HCN) pada suhu $>600^\circ\text{C}$.

(MSDS Melamin – ChemicalBook, 2025)

2.1.3 Identifikasi *Hazard* Melamin

Tabel 2. 1 Identifikasi *Hazard* Melamin

Komponen	<i>Hazard</i>	Ket	Pengelolaan
Melamin	Mudah Meledak		Hindari pembentukan debu halus dan pemanasan berlebih karena dapat membentuk campuran debu yang mudah meledak di udara. Gunakan ventilasi yang baik dan hindari percikan api.
	Mudah Terbakar		Tidak mudah terbakar, namun pada kebakaran menghasilkan gas beracun (CO , CO_2 , NO_x , NH_3). Gunakan alat pemadam seperti air, busa, CO_2 , atau bubuk kering.
	Bersifat Racun	✓	Dapat berbahaya jika tertelan dalam jumlah besar (menyebabkan gangguan ginjal). Hindari menghirup debu atau kontak langsung dengan kulit dan mata. Jika tertelan, jangan memaksa muntah; segera dapatkan pertolongan medis.
	Korosif		Tidak bersifat korosif terhadap logam, namun reaktif terhadap asam kuat dan oksidator. Simpan di wadah tertutup rapat, jauh dari bahan reaktif.
	Iritasi	✓	Menyebabkan iritasi ringan pada kulit, mata, dan saluran pernapasan. Jika terkena mata atau kulit, bilas dengan air mengalir

Komponen	Hazard	Ket	Pengelolaan
			minimal 15 menit dan lepas pakaian yang terkontaminasi.
	Oksidasi		Tidak bersifat oksidator, tetapi dapat bereaksi dengan oksidator kuat. Hindari penyimpanan bersama bahan tersebut.
	Radioaktif		Tidak bersifat radioaktif

2.2 Spesifikasi Produk Samping

2.2.1 Spesifikasi Umum Amonia (NH₃)

Rumus molekul	: NH ₃
IUPAC	: <i>Ammonia</i>
Berat molekul	: 17,03 g/mol
Wujud	: gas (cair bila dikompresi)
Bentuk	: gas tak berwarna
pH	: ±11,6 (larutan 1,0 N, 25 °C)
Titik leleh	: -77,7 °C
Titik didih	: -33,4 °C
Titik penyalaaan otomatis	: 651 °C
Tekanan uap	: 8,75 atm (21 °C)
Kelarutan dalam air	: sangat larut (membentuk NH ₄ OH)
Log Pow (n-oktanol/air)	: -2,66
Density (kepadatan relatif)	: 0,771 kg/m ³ (0 °C)

(MSDS Melamin – ChemicalBook, 2025)

2.2.2 Sifat Kimia Amonia

- Bau: Menyengat, tajam, iritan
- Stabilitas: Stabil pada kondisi penyimpanan normal dalam silinder tertutup dan berventilasi baik.

- Kondisi yang Harus Dihindari: Panas tinggi, sumber api, percikan, dan ruang tertutup tanpa ventilasi.
- Bahan yang Tidak Kompatibel: Oksidator kuat, asam kuat, halogen, logam berat (Cu, Ag, Zn), hipoklorit.
- Produk Penguraian Berbahaya: Nitrogen oksida (NO_x) saat terurai akibat pemanasan atau kebakaran.

(MSDS Amonia – ChemicalBook, 2025)

2.2.3 Identifikasi *Hazard* Amonia

Tabel 2. 2 Identifikasi *Hazard* Amonia

Komponen	<i>Hazard</i>	Ket	Pengelolaan
Melamin	Mudah Meledak		Tidak diklasifikasikan sebagai bahan peledak, namun silinder dapat meledak bila dipanaskan. Jauhkan dari panas dan api.
	Mudah Terbakar	✓	Gas mudah terbakar pada konsentrasi tertentu. Gunakan air semprot, CO ₂ , atau dry chemical saat kebakaran.
	Bersifat Racun	✓	Beracun bila terhirup atau tertelan. Gunakan respirator dan ventilasi baik.
	Korosif	✓	Bersifat sangat basa dan korosif terhadap kulit dan mata. Gunakan APD lengkap.
	Iritasi	✓	Menyebabkan iritasi berat pada mata, kulit, dan saluran pernapasan.

Komponen	Hazard	Ket	Pengelolaan
	Oksidasi		Bukan oksidator, tetapi bereaksi hebat dengan oksidator kuat.
	Radioaktif		Tidak bersifat radioaktif

2.2.4 Spesifikasi Umum Karbon Dioksida (CO₂)

Rumus molekul	: CO ₂
IUPAC	: <i>Carbon dioxide</i>
Berat molekul	: 44,01 g/mol
Wujud	: gas (padat sebagai <i>dry ice</i>)
Bentuk	: gas tak berwarna
pH	: tidak berlaku (larutan bersifat asam lemah)
Titik leleh	: −78,5 °C (sublimasi)
Titik didih	: −78,46 °C
Tekanan uap	: 56,5 atm (20 °C)
<i>Density</i> (kepadatan relatif)	: 1,52

(MSDS Karbon Dioksida – ChemicalBook, 2025)

2.2.5 Sifat Kimia Karbon Dioksida

- Bau: Tidak berbau
- Stabilitas: Stabil pada kondisi penyimpanan normal.
- Kondisi yang Harus Dihindari: Pemanasan silinder, ruang tertutup tanpa ventilasi.
- Bahan yang Tidak Kompatibel: Oksidator kuat, logam reaktif (Na, K, Mg, Al).
- Produk Penguraian Berbahaya: Oksida karbon (CO, CO₂) pada kondisi kebakaran.

2.2.6 Identifikasi *Hazard* Karbon Dioksida

Tabel 2. 3 Identifikasi *Hazard* Karbon Dioksida

Komponen	Hazard	Ket	Pengelolaan
Melamin	Mudah Meledak		Tidak mudah meledak, namun silinder bertekanan dapat pecah bila dipanaskan.
	Mudah Terbakar		Tidak mudah terbakar dan digunakan sebagai media pemadam kebakaran.
	Bersifat Racun	✓	Tidak beracun, tetapi menyebabkan asfiksia pada konsentrasi tinggi.
	Korosif		Tidak bersifat korosif.
	Iritasi	✓	Konsentrasi tinggi dapat menyebabkan pusing, sesak napas, hingga tidak sadar.
	Oksidasi		Tidak bersifat oksidator.
	Radioaktif		Tidak bersifat radioaktif

2.3 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.3.1 Spesifikasi Umum Urea

Rumus molekul	: CH ₄ N ₂ O
IUPAC	: Urea (<i>Carbamide</i>)
Berat molekul	: 60,06 g/mol
Wujud	: padat
Bentuk	: kristal putih (<i>white crystalline solid</i>)
pH	: 7,5 – 9,5 (larutan 480 g/L, 25 °C)
Titik leleh	: 132 – 135 °C

Titik didih	: ~332 °C
Titik nyala (flash point)	: tidak berlaku
Titik penyalaaan otomatis	: tidak mudah menyala
Tekanan uap	: < 0,1 hPa (25 °C)
Kelarutan dalam air	: 624 g/L (20 °C)
Log Pow (n-oktanol/air)	: -1,73 (22 °C)
Density (kepadatan relatif)	: 1,33 g/cm ³ (20–25 °C)

(MSDS Urea – ChemicalBook, 2025)

2.3.2 Sifat Kimia Urea

- Bau: Tidak berbau
- Stabilitas: Stabil pada kondisi penyimpanan normal (suhu ruang, kering, tertutup rapat).
- Kondisi yang Harus Dihindari: Pemanasan berlebih, pembentukan debu, dan kontak dengan sumber panas kuat.
- Bahan yang Tidak Kompatibel: Oksidator kuat (misalnya *nitrates*, *perchlorates*), hypochlorites, asam kuat.
- Produk Penguraian Berbahaya: Oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), serta amonia (NH₃) bila terurai pada pemanasan kuat.

(MSDS Urea – ChemicalBook, 2025)

2.3.3 Identifikasi *Hazard* Urea

Tabel 2. 4 Identifikasi *Hazard* Urea

Komponen	Hazard	Ket	Pengelolaan
Urea	Mudah Meledak		Tidak diklasifikasikan sebagai bahan eksplosif. Namun, hindari pembentukan debu dalam jumlah besar. Penggumpalan debu padatan dapat meningkatkan risiko reaksi termal saat terkena panas tinggi.
	Mudah Terbakar		Tidak mudah terbakar, tetapi terurai pada pemanasan kuat, menghasilkan gas berbahaya (NH ₃ , CO ₂ , CO, NO _x). Gunakan air semprot, busa, CO ₂ , atau bubuk kering saat terjadi kebakaran.
	Bersifat Racun	✓	Tingkat toksisitas rendah, namun jika tertelan dalam jumlah besar dapat menyebabkan iritasi gastrointestinal. Hindari kontak langsung dan hindari paparan debu. Jika tertelan, beri air dan hubungi medis.
	Korosif		Tidak bersifat korosif terhadap logam. Namun reaktif dengan oksidator kuat, hipoklorit, dan asam kuat. Simpan di wadah tertutup, kering, dan jauh dari bahan reaktif.

Komponen	Hazard	Ket	Pengelolaan
	Iritasi	✓	Dapat menyebabkan iritasi ringan pada mata, kulit, dan saluran pernapasan, terutama bila terpapar debu. Jika terkena kulit atau mata, bilas dengan air mengalir minimal 15 menit.
	Oksidasi		Tidak bersifat oksidator, tetapi dapat bereaksi dengan oksidator kuat. Hindari penyimpanan bersama bahan tersebut.
	Radioaktif		Tidak bersifat radioaktif

2.3.4 Spesifikasi Umum Alumina

Rumus molekul	: Al_2O_3
IUPAC	: <i>Aluminium Oxide</i>
Berat molekul	: 101,96 g/mol
Wujud	: Padat
Bentuk	: Serbuk Putih (<i>white powder</i>)
pH	: 7,0
Titik leleh	: 2040 °C
Titik didih	: 2980 °C
Tekanan uap	: 17 mmHg (20 °C)
Kelarutan dalam air	: Tidak larut
<i>Density</i> (kepadatan relatif)	: 3,97 g/cm ³

(MSDS Urea – ChemicalBook, 2025)

2.3.5 Sifat Kimia Alumina

- Bau: Tidak berbau

- Stabilitas: Stabil pada kondisi penyimpanan normal (suhu ruang, kering, tertutup rapat).
- Kondisi yang Harus Dihindari: Pembentukan debu halus, paparan panas ekstrim, dan kontak dengan asam kuat.
- Bahan yang Tidak Kompatibel: Asam kuat (HCl, H₂SO₄), basa kuat kuat, dan agen reduktor kuat.
- Produk Penguraian Berbahaya: Tidak terurai secara signifikan pada suhu proses normal; pada suhu sangat tinggi dapat melepaskan uap oksida aluminium.

(MSDS Alumina – ChemicalBook, 2025)

2.3.6 Identifikasi *Hazard* Alumina

Tabel 2. 5 Identifikasi *Hazard* Alumina

Komponen	<i>Hazard</i>	Ket	Pengelolaan
Urea	Mudah Meledak		Tidak diklasifikasikan sebagai bahan eksplosif. Namun debu sangat halus dapat menimbulkan risiko mekanik pada ruang tertutup. Hindari penumpukan debu.
	Mudah Terbakar		Tidak mudah terbakar. Alumina bersifat nonflammable dan stabil bahkan pada suhu tinggi. Gunakan pemadaman standar bila terjadi kebakaran pada area sekitar (air semprot, CO ₂ , busa).
	Bersifat Racun	✓	Berbahaya jika tertelan dan terhirup. Paparan debu dapat menyebabkan gangguan mekanis pada pernapasan. Jika

Komponen	Hazard	Ket	Pengelolaan
			terhirup, pindah ke udara segar. Bila tertelan segera basuh mulut dengan air. Gunakan APD debu bila perlu.
	Korosif		Tidak bersifat korosif. Namun dapat bereaksi dengan asam kuat membentuk garam aluminium. Simpan di tempat kering, jauh dari asam kuat.
	Iritasi	✓	Debu alumina dapat menyebabkan iritasi mekanis pada mata, kulit, dan pernapasan. Bila terkena mata/ kulit, bilas dengan air mengalir minimal 15 menit.
	Oksidasi		Tidak bersifat oksidator maupun reduktor. Simpan terpisah dari bahan sangat reaktif.
	Radioaktif		Tidak bersifat radioaktif

2.4 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan upaya sistematis untuk menjaga agar mutu produk tetap sesuai dengan standar yang telah ditetapkan perusahaan. Kegiatan ini mencakup pemantauan terhadap seluruh tahapan produksi, mulai dari pemilihan bahan baku hingga pengemasan produk akhir. Untuk mencapai hasil yang optimal, diperlukan bahan baku berkualitas tinggi serta pengawasan terhadap parameter proses seperti suhu, tekanan, dan waktu reaksi agar produk yang dihasilkan memiliki mutu yang konsisten dan dapat bersaing di pasar. Secara umum, pengendalian kualitas di perusahaan manufaktur dilaksanakan melalui tiga tahap utama, yaitu pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses, dan pengendalian kualitas produk akhir. Setiap

tahap berfungsi memastikan kesesuaian spesifikasi produk dengan standar yang berlaku, mengurangi risiko cacat produksi, serta menjamin keandalan dan konsistensi mutu produk secara berkelanjutan. (Zacharias, 2022)

2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan untuk memastikan bahwa bahan yang digunakan telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam proses produksi. Urea berbentuk *prill* dengan kemurnian 99,3% disimpan di dalam silo pada kondisi suhu ruang dan tekanan atmosfer. Seluruh tahapan proses produksi dipantau dan dikendalikan secara optimal guna menjaga konsistensi mutu produk yang dihasilkan. Pemantauan dan pengendalian dilakukan secara terpusat melalui ruang kontrol (*control room*) menggunakan sistem otomatis yang terintegrasi dengan berbagai *controller*. Apabila terjadi penyimpangan dari nilai setpoint, baik pada laju alir bahan baku maupun produk, ketinggian level dalam tangki, atau suhu operasi maka *controller* akan secara otomatis melakukan koreksi untuk mengembalikan kondisi ke nilai yang diinginkan. Jenis pengendalian yang diterapkan meliputi:

- a) Pengendalian level cairan dalam tangki (*level control*)
- b) Pengendalian laju alir bahan baku dan produk (*flow control*)
- c) Pengendalian kondisi operasi, khususnya suhu proses (*temperature control*)

2.4.2 Pengendalian Kualitas Proses

Pengendalian kualitas proses merupakan kegiatan penting dalam sistem produksi yang bertujuan memastikan seluruh tahapan operasional berjalan sesuai dengan standar dan prosedur yang telah ditetapkan perusahaan. Menurut (Wahyudi, 2022), pengendalian kualitas tidak hanya dilakukan pada tahap akhir, tetapi harus diterapkan secara menyeluruh mulai dari perencanaan produksi, pengolahan bahan baku, hingga pemeriksaan hasil akhir. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan penyimpangan yang

dapat menyebabkan produk cacat atau tidak memenuhi spesifikasi mutu yang diharapkan.

Pengendalian kualitas proses juga berfungsi sebagai alat evaluasi dan perbaikan berkelanjutan terhadap faktor-faktor yang memengaruhi mutu, seperti kinerja mesin, kondisi bahan baku, serta keterampilan tenaga kerja. Dengan penerapan sistem kontrol yang baik, perusahaan dapat menekan tingkat kecacatan produk, meningkatkan efisiensi proses, dan menjaga konsistensi mutu sesuai standar yang berlaku. Selain itu, sebelum proses berlangsung, bahan baku terlebih dahulu mengalami perlakuan khusus sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Suhu urea di dalam melter dinaikkan hingga 135 °C agar urea meleleh, kemudian dialirkan ke dalam reaktor untuk direaksikan. Pada umumnya, pelaksanaan pengendalian kualitas proses di perusahaan dibagi menjadi tiga tahap:

- a) Tahap persiapan.
- b) Tahap pengendalian proses.
- c) Tahap pemeriksaan akhir.

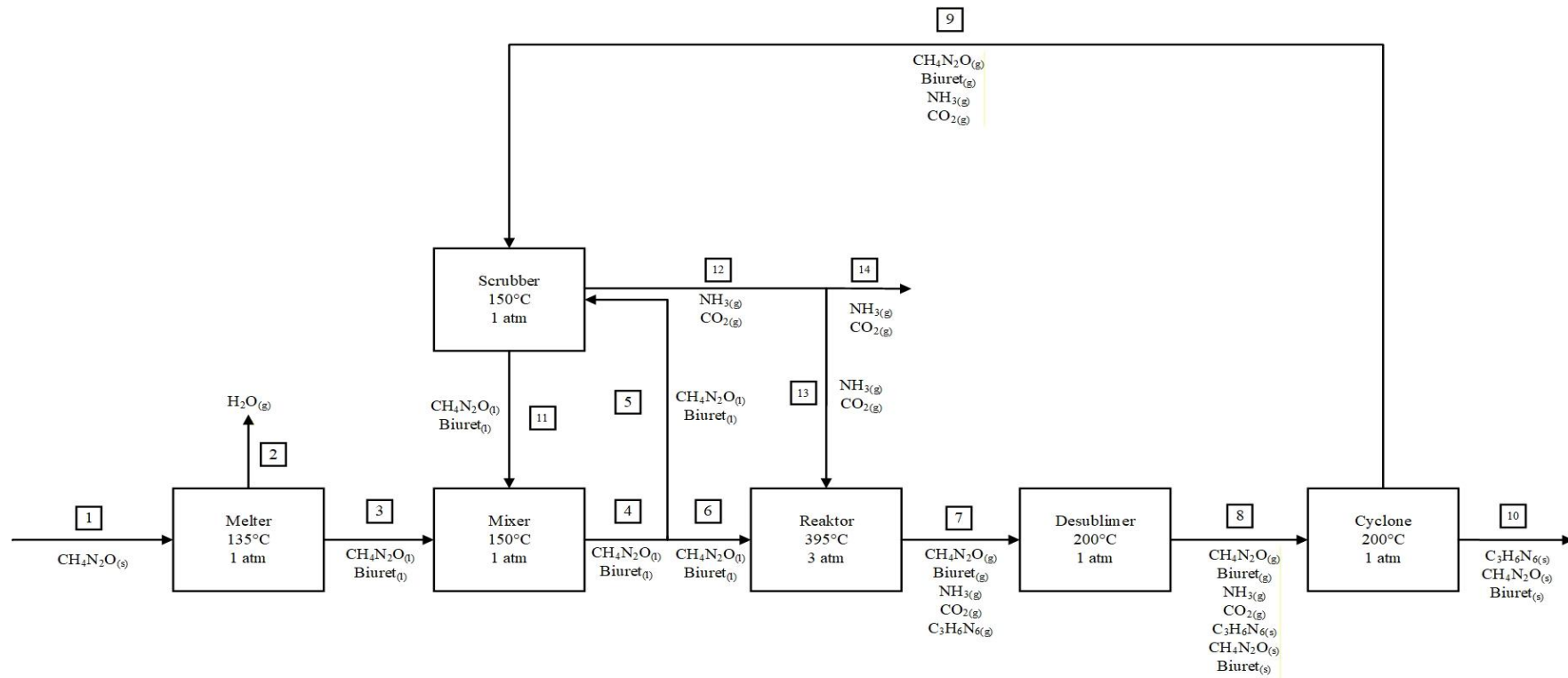
2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk

Untuk memastikan produk yang dihasilkan memenuhi standar yang telah ditetapkan, perusahaan perlu menggunakan bahan baku dengan mutu tinggi serta menerapkan sistem pengawasan dan pengendalian proses yang efektif. Tindakan yang tepat juga harus diambil dalam menangani kerusakan produk dan upaya peningkatan kualitas hasil akhir guna mendukung keberlanjutan operasional perusahaan. Selain itu, perusahaan perlu mengumpulkan serta menganalisis berbagai informasi terkait keluhan konsumen sebagai dasar evaluasi dan perbaikan, sehingga proses produksi berikutnya dapat menghasilkan produk yang lebih berkualitas dan dapat dipertanggung jawabkan.

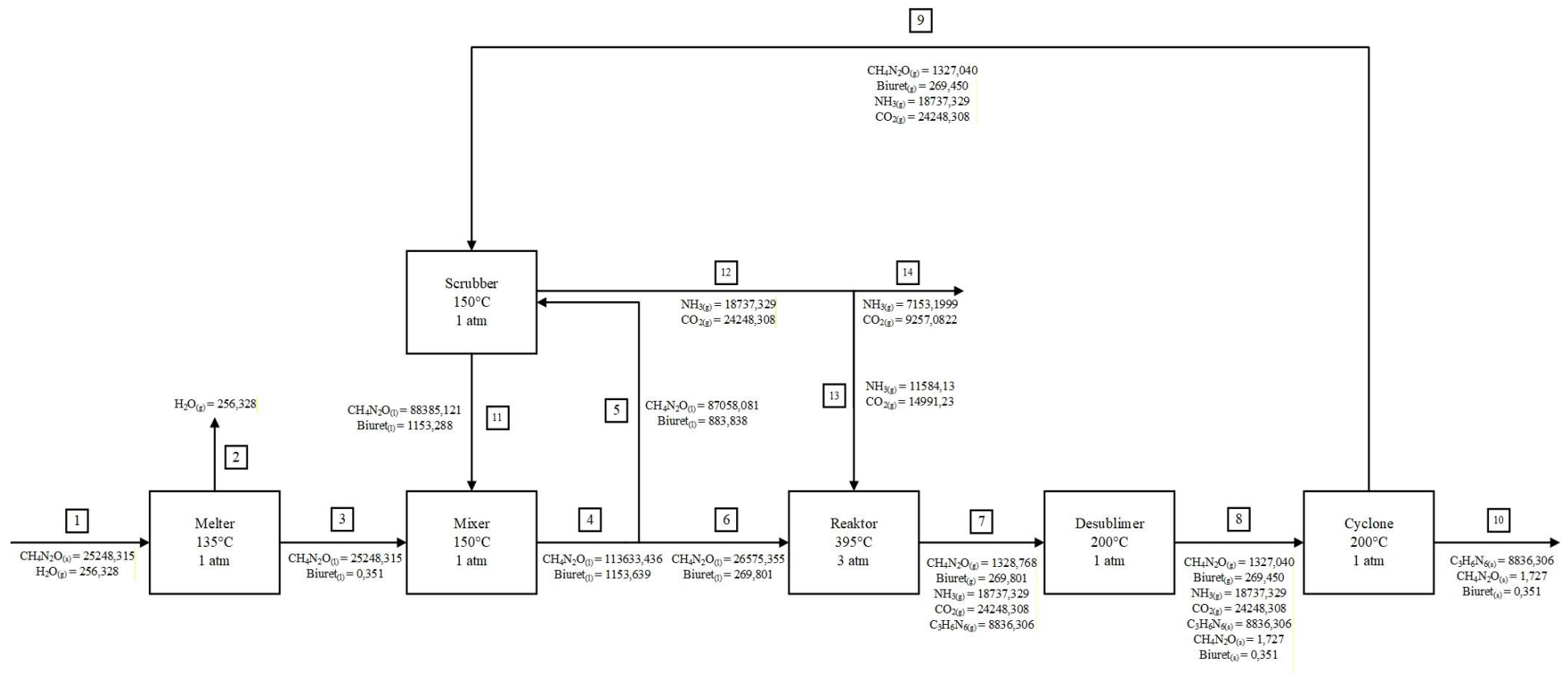
BAB III

PERANCANGAN PROSES

3.1 Diagram Alir Proses dan Material



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

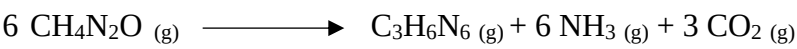


Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

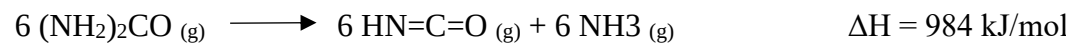
3.2.1 Dasar Reaksi

Melamin dapat dibuat dari urea pada suhu 390–410 °C yang merupakan reaksi dekomposisi urea.

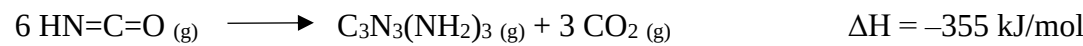
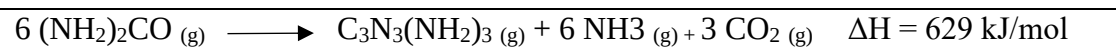


Reaksi pembentukan melamin dari urea berlangsung melalui dua tahapan reaksi, yaitu dekomposisi urea menjadi asam isosianat dan amonia, kemudian pada tahap kedua asam isosianat bereaksi membentuk melamin dan karbon dioksida. Pada proses ini digunakan katalis alumina. Mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut:

1. Dekomposisi urea menjadi asam *isocyanat* dan amonia



2. Asam *isocyanat* berubah menjadi melamin dan karbondioksida



Reaksi total yang terjadi adalah endotermis dengan $\Delta H = 629 \text{ kJ/mol}$, reaksi tersebut berlangsung pada fase gas dengan bantuan katalis berfase padat.

Proses pembuatan melamin dengan bahan baku urea dijalankan pada kondisi:

Reaktor : *Fluidized Bed Reactor*

Suhu : 395 °C

Tekanan : 3 atm

Katalis : Al_2O_3

3.2.2 Langkah Proses

Proses pembuatan melamin dengan bahan baku urea terbagi menjadi tiga tahap utama, yaitu:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku urea dengan kemurnian 99,3% berat dalam bentuk prill disimpan di dalam silo tangki penyimpanan pada tekanan 1 atm dan suhu ruang. Dari silo tersebut, urea prill diumpankan ke dalam melter untuk dilelehkan pada tekanan 1 atm dan suhu sekitar 135 °C. Pada kondisi ini, urea berubah menjadi fase cair, sementara kandungan air yang terdapat di dalamnya akan menguap. Lelehan urea yang keluar dari melter kemudian dipompa menuju *heater* untuk dinaikkan suhunya hingga mencapai 150 °C. Setelah itu, aliran urea cair dialirkan ke dalam *mixer*. Dari *mixer*, lelehan urea didistribusikan ke dua jalur, yaitu menuju *scrubber* dan menuju *heater* lanjutan sebelum akhirnya diumpankan ke *reactor*. Di dalam *scrubber*, lelehan urea berfungsi sebagai media penyerap bagi sisa urea dan biuret yang terbawa dalam aliran *off gas*. Komponen-komponen tersebut akan terlarut dan terserap ke dalam urea cair. Lelehan urea yang keluar dari *scrubber* kemudian dikembalikan ke dalam *mixer* untuk dicampurkan kembali dengan aliran urea dari *melter*. Selanjutnya, campuran lelehan urea tersebut digunakan sebagai umpan menuju reaktor.

2. Tahap Reaksi

Lelehan urea dari *mixer* kemudian dipompa menuju *heater* untuk dinaikkan suhunya hingga mencapai 200 °C. Selanjutnya, urea cair diumpankan ke dalam reaktor unggun terfluidisasi (R-01) dengan metode penyemprotan (*spray*) pada suhu tersebut. Urea yang disemprotkan akan terdispersi membentuk gelembung-gelembung kecil yang kemudian terfluidisasi oleh aliran gas, sehingga memungkinkan terjadinya kontak yang intensif antara fase gas dan padatan serta mendukung berlangsungnya reaksi. Gas

fluidisasi yang digunakan berasal dari *off gas* reaksi yang telah diproses sebelumnya di dalam *scrubber*. Gas ini merupakan campuran yang didominasi oleh karbon dioksida (CO_2) dan amonia (NH_3). Setelah dipisahkan dan dibersihkan di *scrubber*, gas tersebut dikompresi menggunakan kompresor, kemudian dialirkan ke *heater* untuk dipanaskan hingga mencapai suhu sekitar $395\text{ }^\circ\text{C}$. Gas fluidisasi yang telah dipanaskan kemudian diumpankan ke dalam reaktor pada kondisi operasi $395\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 3 atm. Di dalam reaktor unggun terfluidisasi, gas ini berfungsi untuk menjaga kondisi fluidisasi sekaligus sebagai media perpindahan panas dan massa.

Reaksi pembentukan melamin berlangsung secara endotermik, sehingga memerlukan suplai panas dari luar. Kebutuhan panas ini dipenuhi oleh sistem pemanas menggunakan garam cair (*molten salt*) yang bersirkulasi melalui pipa-pipa (*tube*) di dalam reaktor. Di dalam reaktor, urea mengalami dekomposisi termal yang menghasilkan melamin sebagai produk utama, serta amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk samping.

3. Tahap Pemurnian

Sebagai hasil dari reaksi di reaktor, gas keluaran mengalami penurunan tekanan melalui *expansion valve* dari 3 atm menjadi 1 atm. Penurunan tekanan ini menyebabkan suhu gas ikut menurun dari $395\text{ }^\circ\text{C}$ menjadi $382\text{ }^\circ\text{C}$. Selanjutnya, gas dialirkan menuju desublimer. Di dalam *desublimer*, gas didinginkan menggunakan air pendingin sehingga melamin mengalami desublimasi dan mengkristal. Produk melamin yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi, yaitu sekitar 99,9%. Pada suhu sekitar $200\text{ }^\circ\text{C}$ melamin akan mengkristal, kemudian campuran gas reaksi dan kristal melamin keluar dari *desublimer* dan dialirkan menuju *cyclone*.

Di dalam *cyclone*, kristal melamin dipisahkan dari gas off. Kristal melamin yang masih bersuhu sekitar $200\text{ }^\circ\text{C}$ kemudian didinginkan menggunakan *Cooling Screw*

Conveyor hingga mencapai suhu sekitar 30 °C, sebelum akhirnya disimpan di dalam silo. Sementara itu, gas off yang keluar dari *cyclone* dialirkan menggunakan *blower* menuju *scrubber*, dengan terlebih dahulu melewati *cooler*. Di dalam *scrubber*, terjadi kontak antara gas off dengan lelehan urea bersuhu 150 °C. Proses ini menyebabkan suhu gas turun dari sekitar 180 °C menjadi 150 °C. Penurunan suhu tersebut mengakibatkan sebagian komponen dalam gas mengalami kondensasi, yang kemudian diserap oleh urea cair. Gas yang tidak terserap keluar dari *scrubber* dan selanjutnya dibagi menjadi dua aliran, yaitu sebagian di-*purging* dan sebagian lagi dikembalikan ke reaktor untuk digunakan sebagai gas fluidisasi.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Alat Besar

3.3.1.1 Spesifikasi *Melter*

Kode	: ME-01
Fungsi	: Melelehkan bahan baku urea menjadi cair
Jenis	: Silinder vertikal dengan tutup <i>flanged and dished head</i>
Jumlah	: 1 Buah
Bahan	: <i>Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304</i>
Kondisi operasi	: P : 1 atm
	T : 135 °C

Dimensi tangki

- a. Volume tangki : 22,98 m³
- b. Diameter tangki : 2,599 m
- c. Tinggi tangki : 3,899 m

- d. Tinggi total : 4,549 m
- e. Tinggi tutup : 0,650 m
- f. Tebal *shell* : 1,375 in
- g. Tekanan operasi : 23,096 psi
- h. Diameter spiral : 2,339 m
- i. Jumlah lilitan : 90 lilitan
- j. Diameter koil : 0,051 m
- k. Jarak antar koil : 0,013 m
- l. Luas permukaan lilitan spiral : 1,393 m²
- m. Panjang koil : 16,085 m

Dimensi pengaduk

- a. Jumlah pengaduk : 1 buah
- b. Jenis pengaduk : *Propeller 3 blade*
- c. Jumlah *Baffle* : 4 buah
- d. Diameter pengaduk : 0,7798 m
- e. Tinggi pengaduk : 0,1950 m
- f. Lebar pengaduk : 0,1560 m
- g. Lebar *Baffle* : 0,22 m
- h. Kecepatan putaran pengaduk : 180 rpm
- i. Power motor : 75 HP

Harga : Rp 2.176.630.165,25

3.3.1.2 Spesifikasi *Mixer*

Kode : M-01

Fungsi : Menghomogenkan hasil keluaran *scrubber* dan
hasil keluaran *melter*

Jumlah : 1 Buah

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Jenis : Tangki Silinder tegak

Kondisi Operasi : P : 1 atm

T : 150 °C

Dimensi Tangki

- a. Diameter : 5,1001 m
- b. Tinggi : 7,3031 m
- c. Tinggi cairan : 4,2501 m
- d. Volume *mixer* : 116,97 m³
- e. Volume *head* : 12,8288 m³
- f. Tinggi *shell* : 5,1001 m
- g. Tinggi *head* : 1,1015 m
- h. Tebal *shell* : 0,3125 in
- i. Tebal *head* : 0,3125 in

Dimensi Pengaduk

- a. Jumlah pengaduk : 1 Buah
- b. Jenis pengaduk : *Turbine dengan 6 blades*
- c. Jumlah *Baffle* : 4 Buah
- d. Diameter pengaduk : 1,7219 m
- e. Tinggi pengaduk : 0,4305 m
- f. Lebar pengaduk : 0,3444 m
- g. Lebar *Baffle* : 0,4305 m
- h. Kecepatan putaran pengaduk : 25 rpm

i. Power motor : 10 HP

Harga : Rp 1.029.276.495,75

3.3.1.3 Spesifikasi Reaktor

Kode : R-01

Fungsi : Tempat mereaksikan urea menjadi melamin, amonia, dan karbondioksida

Jenis : *Fluidized Bed Reactor*

Jumlah : 1 Buah

Bahan : *Stainless Steel SA-283 Grade C*

Kondisi operasi : P : 3 atm

T : 395 °C

Dimensi Reaktor

- a. Tinggi total reaktor : 15,406 m
- b. *Transport Disengaging Height* (TDH) : 4,446 m
- c. Tinggi zona reaksi atas : 2,739 m
- d. Tinggi zona reaksi bawah : 5,941 m
- e. Tinggi *head* total : 2,280 m
- f. Tinggi *head* bawah : 0,7599 m
- g. Tinggi *head* atas : 1,5198 m
- h. Diameter *freeboard* : 5,7 m
- i. Diameter zona reaksi atas : 5,7 m
- j. Diameter zona reaksi bawah : 3,098 m
- k. Volume reaktor : 198,004 m³
- l. Volume reaksi bawah : 44,954 m³

m. Volume reaksi atas	: 69,8494 m ³
n. Volume TDH	: 83,3721 m ³
o. Volume <i>head</i> atas	: 0,004 m ³
p. Volume <i>head</i> bawah	: 0,0028 m ³
q. Waktu tinggal zona reaksi atas	: 10 detik
r. Waktu tinggal zona reaksi bawah	: 6 detik
s. Jumlah lubang <i>distribution plate</i>	: 188 lubang
t. Luas total lubang <i>sieve tray</i>	: 3,0145 m ²
u. Luas lubang <i>sieve tray</i>	: 0,0000785 m ²
v. Jumlah lubang <i>sieve tray</i>	: 38402 lubang
w. Tebal <i>tray</i>	: 0,003 m
x. Diameter lubang <i>tray</i>	: 0,01 m
y. Diameter lubang <i>distribution plate</i>	: 0,027 m

Dimensi *tube* reaktor

a. Panjang	: 3,6576 m
b. <i>Passes</i>	: 2 <i>passes</i>
c. Diameter luar	: 0,03175 m
d. Diameter dalam	: 0,0287 m
e. <i>Number</i>	: 161
f. BWG	: 17
g. <i>Pitch</i>	: 0,040 m
	<i>Triangular pitch</i>
h. <i>Pressure drop tube</i>	: 10,742 psi

Harga : Rp 5.612.007.560,15

3.3.1.4 Spesifikasi *Cyclone-01*

Kode : CY-01

Fungsi : Memisahkan partikel padatan katalis yang terikut dalam gas hasil reaksi

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Jenis : *Stairmand High Efficiency Cyclone*

Jumlah : 1 buah

Kondisi Operasi : P : 3 atm
T : 395 °C

Spesifikasi

- a. Diameter *cyclone* : 1,0129 m
- b. Diameter *outlet gas* : 0,5065 m
- c. Diameter outlet padatan : 0,3798 m
- d. Tinggi *cyclone* : 4,0517 m
- e. *Pressure drop* : 1,4304 atm
- f. Diameter *inlet gas* : 0,103 m
- g. Pipa outlet masuk : 0,506 m
- h. Tinggi *body cylinder* : 1,519 m
- i. Tinggi *body cone* : 2,532 m

Harga : Rp 347.547.907,65

3.3.1.5 Spesifikasi *Desublimer*

Kode : DS-01

Fungsi : Mengubah gas melamin menjadi kristal

Jenis : Silinder vertikal dengan atap

Torispherical Flanged & Dished Head

dan alas *cone bottom*

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Jumlah : 1 buah

Kondisi Operasi : P : 1 atm

T : 200 °C

Spesifikasi

- a. Volume total *desublimer* : 200,568 m³
- b. Diameter : 5,226 m
- c. Tinggi *desublimer* : 9,873 m
- d. Tinggi *bottom* : 0,446 m
- e. Tinggi *head* : 1,222 m
- f. Tinggi *shell* : 8,206 m
- g. Tebal *shell* : 0,313 in
- h. Tebal *head* : 0,375 in
- i. Tebal *bottom* : 0,313 in
- j. Kecepatan jatuh alami partikel : 1,065 m/s
- k. Kecepatan aliran gas : 1,597 m/s
- l. Diameter koil : 0,154 m
- m. Jumlah lilitan : 140 lilitan
- n. Panjang koil : 74,79 m
- o. Jarak antar koil : 0,0385 m
- p. Luas area permukaan pendingin : 14,717 m²
- q. Ukuran partikel melamin : 100 µm

Harga : Rp 12.017.137.268,53

3.3.1.6 Spesifikasi Cyclone-02

Kode	: CY-02
Fungsi	: Memisahkan padatan (melamin) dengan gas (urea, biuret, amonia, dan karbondioksida)
Bahan	: Carbon Steel SA-283 Grade C
Jenis	: Stairmand High Efficiency Cyclone
Jumlah	: 1 buah
Kondisi Operasi	: P : 1 atm T : 200 °C

Spesifikasi

- a. Diameter cyclone : 1,253 m
- b. Diameter outlet gas : 0,627 m
- c. Diameter outlet padatan : 0,470 m
- d. Tinggi cyclone : 5,014 m
- e. Pressure drop : 0,408 atm
- f. Diameter inlet gas : 0,157 m
- g. Pipa outlet masuk : 0,627 m
- h. Tinggi body cylinder : 1,880 m
- i. Tinggi body cone : 3,134 m

Harga	: Rp 412.156.172,54
-------	---------------------

3.3.1.7 Spesifikasi Scrubber

Kode	: T-01
Fungsi	: Mengambil gas recycle dari cyclone untuk dikembalikan ke mixer

Jenis	: <i>Packed tower</i>
Jumlah	: 1 buah
Bahan	: <i>Stainless Steel SA-240 Grade M</i>
Kondisi Operasi	: P : 1 atm
	T : 150 °C

Dimensi Tangki

a. Luas penampang	: 6,2957 m ²
b. Tinggi <i>scrubber</i>	: 15,2770 m
c. Tebal <i>shell</i>	: 0,1875 in
d. Tebal <i>head</i>	: 0,1875 in
e. Diameter dalam	: 3,067 m
f. Diameter luar	: 3,077 m
g. Diameter <i>tower</i>	: 3,067 m
h. Tinggi <i>head</i> atas	: 0,696 m
i. Tinggi <i>head</i> bawah	: 0,696 m

Spesifikasi isian

a. Ukuran <i>packing</i>	: 76 mm
b. Tebal <i>packing</i>	: 9,5 mm
c. Jenis <i>packing</i>	: <i>Ceramic rasching</i>
d. Tinggi <i>packing</i>	: 6,2170 m
e. Tinggi <i>top</i>	: 3,0670 m
f. Tinggi <i>bottom</i>	: 4,6006 m

Harga	: Rp 830.995.958,69
-------	---------------------

3.3.2 Spesifikasi Alat Penyimpanan

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penyimpanan

Silo	S-01	S-02	S-03
Fungsi	Menyimpan bahan baku padatan urea selama 7 hari	Menyimpan bahan baku padatan urea selama 7 hari	Menyimpan bahan baku padatan urea selama 7 hari
Jumlah	1 buah	1 buah	1 buah
Jenis	Silinder vertikal atap <i>ellipsoidal</i> dan alas kerucut	Silinder vertikal atap <i>ellipsoidal</i> dan alas kerucut	Silinder vertikal atap <i>ellipsoidal</i> dan alas kerucut
Bahan	<i>Carbon Steel SA-299 Grade A</i>	<i>Carbon Steel SA-299 Grade A</i>	<i>Carbon Steel SA-299 Grade A</i>
Kondisi Operasi	Suhu: 30 °C Tekanan: 1 atm	Suhu: 30 °C Tekanan: 1 atm	Suhu: 30 °C Tekanan: 1 atm
Volume silo	1201,077 m ³	1201,077 m ³	1201,077 m ³
Diameter silo	7,755 m	7,755 m	7,755 m
Tinggi atap	0,339 m	0,339 m	0,399 m
Tinggi silinder	23,264 m	23,264 m	23,264 m
Tinggi kerucut	2,715 m	2,715 m	2,715 m
Tinggi total	26,318 m	26,318 m	26,318 m
Tebal <i>shell</i>	0,3125 in	0,3125 in	0,3125 in
Tebal <i>head</i>	0,438 in	0,438 in	0,438 in
Harga	Rp 1.782.296.962	Rp 1.782.296.962	Rp 1.782.296.962

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Penyimpanan (lanjutan)

Silo	S-04
Fungsi	Menyimpan bahan baku padatan melamin selama 7 hari
Jumlah	1 buah
Jenis	Silinder vertikal atap <i>ellipsoidal</i> dan alas kerucut
Bahan	<i>Carbon Steel SA-299 Grade A</i>
Kondisi Operasi	Suhu: 30 °C Tekanan: 1 atm
Volume silo	428,887 m ³
Diameter silo	5,502 m
Tinggi atap	0,240 m
Tinggi silinder	16,506 m
Tinggi kerucut	1,926 m
Tinggi total	18,672 m
Tebal <i>shell</i>	0,25 in
Tebal <i>head</i>	0,375 in
Harga	Rp 1.198.594.707,17

3.3.3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

3.3.3.1 Spesifikasi *Screw Conveyor*

Kode	: SC-01
Fungsi	: Mengangkut bahan baku urea padat dari silo menuju <i>melter</i>
Jenis	: <i>Horizontal Screw Conveyor</i>
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-53 Grade B</i>

Jumlah : 1 buah

Kondisi Operasi : P : 1 atm

T : 30 °C

Dimensi *Conveyor*

- a. Kapasitas : 10 ton/jam
- b. Diameter *Screw* : 10 in
- c. Diameter *shaft* pipa : 2,5 in
- d. Diameter *shaft* : 2 in
- e. Kecepatan motor : 55 rpm
- f. Diameter *Feed section* : 9 in
- g. Panjang : 10 m
- h. Daya motor : 2,25 HP

Dimensi *Hopper*

- a. Diameter *hopper* : 0,0596 m
- b. Diameter outlet *hopper* : 0,0223 m
- c. Tinggi *hopper* : 0,1489 m
- d. Volume *hopper* : 19,15 m³/jam

Harga : Rp 147.039.499,39

3.3.3.2 Spesifikasi *Cooling Screw Conveyor*

Kode : CSC-01

Fungsi : Mengangkut produk melamin padat dari
cyclone menuju silo

Jenis : *Horizontal Screw Conveyor*

Bahan : Carbon Steel SA-53 Grade B

Jumlah : 1 buah

Kondisi Operasi : P : 1 atm

T : 30 °C

Dimensi *Conveyor*

- a. Kapasitas : 5 ton/jam
- b. Diameter *Screw* : 9 in
- c. Diameter *shaft* pipa : 2,5 in
- d. Diameter *shaft* : 2 in
- e. Kecepatan motor : 40 rpm
- f. Diameter *Feed section* : 6 in
- g. Panjang : 5 m
- h. Daya motor : 0,85 HP

Dimensi *Hopper*

- a. Diameter *hopper* : 0,1610 m
- b. Diameter *outlet hopper* : 0,0604 m
- c. Tinggi *hopper* : 0,4026 m
- d. Volume *hopper* : 140,02 m³/jam

Dimensi Pendingin

- a. Media pendingin : Air (H₂O)
- b. Jenis : Jaket pendingin
- c. Tebal jaket : 0,0048 m
- d. Panjang jaket : 4,5 m
- e. Diameter dalam jaket : 0,230 m

- f. Diameter luar jaket : 0,239 m
 - g. Kebutuhan air : 7,259 kg/jam
- Harga : Rp 120.305.044,96

3.3.3.3 Spesifikasi *Bucket Elevator*

Tabel 3. 3 Spesifikasi Transportasi *Bucket Elevator*

<i>Bucket Elevator</i>	BE-01	BE-02
Fungsi	Mengangkut urea padat dari <i>Screw Conveyor</i> menuju <i>melter</i>	Mengangkut melamin padat dari <i>Cooling Screw Conveyor</i> menuju silo
Jenis	<i>Bucket Elevator</i>	<i>Bucket Elevator</i>
Jumlah	1 buah	1 buah
Kondisi Operasi	Suhu: 30 °C Tekanan: 1 atm	Suhu: 30 °C Tekanan: 1 atm
Lebar	8 in	6 in
<i>Projection</i>	5 in	4 in
Kedalaman	5,5 in	4,5 in
Jarak antar <i>bucket</i>	14 in	12 in
Lebar belt	9 in	7 in
Kecepatan <i>bucket</i>	260 ft/menit	225 ft/menit
Power motor	15,417 HP	2,834 HP
Kecepatan putar poros	41 rad/min	43 rad/min
Jarak antar <i>pulley</i>	50 ft	25-50 ft
Diameter <i>head pulley</i>	1,9375 in	1,9375 in
Diameter <i>tail pulley</i>	1,6875 in	1,6875 in

<i>Bucket Elevator</i>	BE-01	BE-02
Ukuran maksimum partikel	25,4 mm	19 mm
Kapasitas	30 ton/jam	14 ton/jam
Harga	Rp 387.649.589,31	Rp 204.964.150,67

3.3.3.4 Spesifikasi *Blower*

Tabel 3. 4 Spesifikasi Transportasi Gas

<i>Blower</i>	BL-01	BL-02
Fungsi	Mengalirkan gas keluaran <i>desublimer</i> menuju <i>cyclone</i>	Mengalirkan gas keluaran <i>cyclone</i> menuju <i>scrubber</i>
Jenis	<i>Centrifugal Blower</i>	<i>Centrifugal Blower</i>
Jumlah	1 buah	1 buah
Kondisi Operasi	Suhu: 200 °C	Suhu: 200 °C
	Tekanan: 1 atm	Tekanan: 1 atm
Kapasitas	743,026 m ³ /min	1085,87 m ³ /min
Efisiensi	91%	85%
Daya	5 HP	7,5 HP
Harga	Rp 708.463.042,53	Rp 911.199.321,99

3.3.3.5 Spesifikasi Kompresor

Kode	: C-01
Fungsi	: Menaikkan tekanan gas NH ₃ dan CO ₂
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jenis	: <i>Centrifugal</i>
Jumlah	: 1 buah

Kondisi Operasi

- a. Tekanan masuk : 1 atm
- b. Tekanan keluar : 3 atm
- c. Suhu masuk : 150 °C
- d. Suhu keluar : 319 °C

Spesifikasi

- a. Kapasitas : 35488,321 m³/jam
- b. Jumlah *Stage* : 1
- c. Rasio kompresi : 3
- d. Power motor : 2,159 HP

Harga : Rp 82.431.234,51

3.3.3.6 Spesifikasi *Expansion Valve*

- Kode : XV-01
- Fungsi : Menurunkan tekanan keluaran reaktor dari 3 atm menjadi 1 atm.
- Bahan : *Commercial steel*
- Jenis : *Globe valve open*
- Jumlah : 1 buah

Kondisi operasi

- a. Tekanan masuk : 3 atm
- b. Tekanan keluar : 1 atm
- c. Suhu masuk : 395 °C
- d. Suhu keluar : 382,2 °C

Spesifikasi

- a. Kapasitas : 53420,512 kg/jam
- b. Diameter dalam : 29,376 in
- c. Diameter luar : 30 in
- d. Flow rate per *pipe* : 677,98 in²
- e. *Equivalent length* : 800 ft

Harga : Rp 668.361,36

3.3.3.7 Spesifikasi Pompa

Tabel 3. 5 Data Spesifikasi Pompa

Pompa	P-01	P-02	P-03
Fungsi	Mengalirkan urea cair hasil keluaran <i>melter</i> menuju heater	Mengalirkan urea cair hasil keluaran heater menuju <i>mixer</i>	Mengalirkan urea cair hasil keluaran <i>Mixer</i> menuju heater
Jumlah	1 buah	1 buah	1 buah
Jenis	<i>Centrifugal Pump</i> <i>Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump</i> <i>Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump</i> <i>Single Stage</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA</i> <i>283 Grade C</i>	<i>Stainless Steel SA</i> <i>283 Grade C</i>	<i>Stainless Steel SA</i> <i>283 Grade C</i>
Impeller	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Mixed Flow Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>
Kondisi Operasi	Suhu: 135 °C Tekanan: 1 atm	Suhu: 150 °C Tekanan: 1 atm	Suhu: 150 °C Tekanan: 1 atm
Diameter dalam	4,5 in	4,5 in	4,5 in
Diameter luar	4,026 in	4,026 in	4,026 in
IPS	4 in	4 in	4 in
Flow area	12,7 in ²	12,7 in ²	12,7 in ²

Pompa	P-01	P-02	P-03
Kapasitas pompa	22,738 m ³ /jam	23,023 m ³ /jam	24,529 m ³ /jam
Power motor	0,333 HP	2 HP	0,167 HP
Putaran	9845 rpm	2784 rpm	15240 rpm
Kecepatan aliran	0,7708 m/s	0,7806 m/s	0,8316 m/s
Efisiensi pompa	63%	63%	64%
<i>Friction head</i>	2,149 ft	5,4403 ft	2,0744 ft
Total head	1,655 m	8,9924 m	0,9721 m
Harga	Rp 206.857.841,19	Rp 286.281.449,57	Rp 144.811.628,19

Tabel 3. 6 Data Spesifikasi Pompa (lanjutan)

Pompa	P-04	P-05	P-06
Fungsi	Mengalirkan urea cair hasil keluaran <i>mixer</i> menuju <i>scrubber</i>	Mengalirkan urea cair hasil keluaran <i>scrubber</i> menuju <i>mixer</i>	Mengalirkan urea cair hasil keluaran <i>heater</i> menuju reaktor
Jumlah	1 buah	1 buah	1 buah
Jenis	<i>Centrifugal Pump</i> <i>Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump</i> <i>Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump</i> <i>Single Stage</i>
Bahan	<i>Stainless Steel SA 283</i> <i>Grade C</i>	<i>Stainless Steel SA 283</i> <i>Grade C</i>	<i>Stainless Steel SA 283</i> <i>Grade C</i>
<i>Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Mixed Flow Impeller</i>
Kondisi	Suhu: 150 °C	Suhu: 150 °C	Suhu: 200 °C
Operasi	Tekanan: 1 atm	Tekanan: 1 atm	Tekanan: 1 atm
Diameter dalam	8,625 in	8,625 in	4,5 in
Diameter luar	7,981 in	7,981 in	4,026 in
IPS	8 in	8 in	4 in

Pompa	P-04	P-05	P-06
<i>Flow area</i>	50 in ²	50 in ²	12,7 in ²
Kapasitas pompa	80,354 m ³ /jam	81,860 m ³ /jam	25,659 m ³ /jam
Power motor	3 HP	1,5 HP	5 HP
Putaran	7409 rpm	12854 rpm	1737 rpm
Kecepatan aliran	0,6920 m/s	0,7050 m/s	0,87 m/s
Efisiensi pompa	80%	80%	65%
<i>Friction head</i>	2,9992 ft	1,5566 ft	2,3393 ft
<i>Total head</i>	5,6096 m	2,7243 m	18,1325 m
Harga	Rp 532.461.217,50	Rp 362.207.300,17	Rp 401.016.816,52

3.3.4 Spesifikasi Alat Penukar Panas

3.3.4.1 Spesifikasi *Heater-01*

Kode	: E-01
Fungsi	: Menaikkan temperatur dari scrubber menuju reaktor dari suhu 319 °C menjadi 395 °C
Tipe	: <i>Shell and Tube</i>
Jumlah	: 1 buah
U _D (<i>Design overall coefficient</i>)	: 149,922 Btu/hr.ft ² .°F
U _C (<i>Clean overall coefficient</i>)	: 183,084 Btu/hr.ft ² .°F
R _d (<i>Dirt factor</i>) terhitung	: 0,0012
R _d (<i>Dirt Factor</i>) minimum	: 0,001

A (Luas Transfer Panas)	: 358,1711439 ft ²
ΔT_{LMTD}	: 17,567 °C
Harga	: Rp 822.084.473,88

Dimensi *Shell* (Fluida dingin)

a. Suhu masuk	: 319 °C
b. Suhu keluar	: 395 °C
c. <i>Passes</i>	: 1 Pass
d. Diameter dalam	: 15,250 in
e. <i>Baffle space</i>	: 7,625 in
f. <i>Pressure drop shell</i>	: 0,0273 psi

Dimeni *Tube* (Fluida Panas)

a. Suhu masuk	: 405 °C
b. Suhu keluar	: 395 °C
c. Panjang	: 16 ft
d. <i>Passes</i>	: 2 <i>passes</i>
e. Diameter luar	: 0,75 in
f. Diameter dalam	: 0,634 in
g. <i>Number</i>	: 138
h. BWG	: 16
i. <i>Pitch</i>	: 1 in, <i>Triangular pitch</i>
j. <i>Pressure drop tube</i>	: 0,210 psi

3.3.4.2 Spesifikasi *Heater-02*

Kode	: E-02
------	--------

Fungsi	: Menaikkan temperatur dari <i>melter</i> menuju <i>mixer</i> dari suhu 135 °C menjadi 150 °C
Tipe	: <i>Double pipe</i>
Jumlah	: 1 buah
Jumlah <i>hairpin</i>	: 3 buah
Panjang <i>hairpin</i>	: 20 ft
A (Luas Transfer Panas)	: 18,340 ft ²
U _D (<i>Design overall coefficient</i>)	: 83,124 Btu/hr.ft ² .°F
U _C (<i>Clean overall coefficient</i>)	: 115,076 Btu/hr.ft ² .°F
R _d (<i>Dirt factor</i>) terhitung	: 0,003
R _d (<i>Dirt factor</i>) minimal	: 0,001
ΔT _{LMTD}	: 244,651 °C
Harga	: Rp 40.101.681,65
Dimensi <i>Annulus</i> (Fluida dingin)	
a. Suhu masuk	: 135 °C
b. Suhu keluar	: 150 °C
c. IPS	: 4 in
d. Diameter luar	: 4,5 in
e. Diameter dalam	: 4,026 in
f. <i>Flow area</i>	: 3,140 in ²
g. <i>Pressure drop</i>	: 0,018 psi
Dimensi <i>Inner pipe</i> (Fluida panas)	

a. Suhu masuk	: 405 °C
b. Suhu keluar	: 395 °C
c. IPS	: 3 in
d. Diameter luar	: 3,5 in
e. Diameter dalam	: 3,068 in
f. <i>Flow area</i>	: 7,38 in ²
g. <i>Pressure drop</i>	: 0,0000115 psi

3.3.4.3 Spesifikasi *Heater-03*

Kode	: E-03
Fungsi	: Menaikkan temperatur dari <i>mixer</i> menuju reaktor dari suhu 150 °C menjadi 200 °C
Tipe	: <i>Double pipe</i>
Jumlah	: 1 buah
Jumlah <i>hairpin</i>	: 5 buah
Panjang <i>hairpin</i>	: 20 ft
A (Luas Transfer Panas)	: 115,6 ft ²
U _D (<i>Design overall coefficient</i>)	: 53,329 Btu/hr.ft ² .°F
U _C (<i>Clean overall coefficient</i>)	: 58,917 Btu/hr.ft ² .°F
R _d (<i>Dirt factor</i>) terhitung	: 0,002
R _d (<i>Dirt factor</i>) minimal	: 0,001
ΔT _{LMTD}	: 211,314 °C
Harga	: Rp 721.830.269,74

Dimensi *Annulus* (Fluida dingin)

h. Suhu masuk	: 150 °C
i. Suhu keluar	: 200 °C
j. IPS	: 8 in
k. Diameter luar	: 8,625 in
l. Diameter dalam	: 7,981 in
m. <i>Flow area</i>	: 21,980 in ²
n. <i>Pressure drop</i>	: 0,011 psi

Dimensi *Inner pipe* (Fluida panas)

h. Suhu masuk	: 405 °C
i. Suhu keluar	: 395 °C
j. IPS	: 6 in
k. Diameter luar	: 6,625 in
l. Diameter dalam	: 6,065 in
m. <i>Flow area</i>	: 50,240 in ²
n. <i>Pressure drop</i>	: 0,00000167 psi

3.3.4.4 Spesifikasi *Cooler-01*

Kode	: E-04
Fungsi	: Menurunkan temperature urea, biuret, ammonia, dan karbondioksida dari <i>cyclone</i> menuju <i>scrubber</i> dari suhu 200 °C menjadi 180 °C
Tipe	: <i>Shell and Tube</i>
Jumlah	: 1 buah

U_D (<i>Design overall coefficient</i>)	: 27 Btu/hr.ft ² .°F
U_C (<i>Clean overall coefficient</i>)	: 84,601 Btu/hr.ft ² .°F
R_d (<i>Dirt factor</i>) terhitung	: 0,0250
R_d (<i>Dirt factor</i>) minimum	: 0,001
A (Luas Transfer Panas)	: 227,075 ft ²
ΔT_{LMTD}	: 111,190 °C
Harga	: Rp 753.020.466,59

Dimensi *Shell* (Fluida panas)

a. Suhu masuk	: 200 °C
b. Suhu keluar	: 180 °C
c. <i>Passes</i>	: 1 Pass
d. Diameter dalam	: 12 in
e. <i>Baffle space</i>	: 6 in
f. <i>Pressure drop shell</i>	: 0,1579 psi

Dimensi *Tube* (Fluida Dingin)

a. Suhu masuk	: 30 °C
b. Suhu keluar	: 50 °C
c. Panjang	: 16 ft
d. <i>Passes</i>	: 2 <i>passes</i>
e. Diameter luar	: 0,75 in
f. Diameter dalam	: 0,62 in
g. <i>Number</i>	: 82
h. BWG	: 16
i. <i>Pitch</i>	: 1 in, <i>Triangular pitch</i>

j. *Pressure drop tube* : 0,350 psi

3.4 Neraca Massa

Hasil perhitungan neraca massa pada perancangan pabrik melamin dari urea adalah sebagai berikut:

Kapasitas Produksi : 70.000 ton/tahun

Waktu Operasi : 330 hari/tahun

Produksi Melamin = $\frac{Kapasitas\ Produksi}{Waktu\ Operasi}$

$= \frac{70.000\ ton/tahun}{330\ hari/tahun} \times \frac{1.000\ kg}{1\ ton} \times \frac{1\ hari}{24\ jam}$

$= 8838,38\ kg/jam$

3.4.1 Neraca Massa *Melter-01* (ME-01)

Tabel 3. 7 Neraca Massa *Melter-01*

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
CH4N2O	25.248,315	0	25.248,315
H2O	256,328	256,328	0
(H2NCO)2NH	0,351	0	0,351
NH3	0	0	0
CO2	0	0	0
C3N6H6	0	0	0
Sub Total	25.504,994	256,328	25.248,666
Total	25.504,994	25.504,994	

3.4.2 Neraca Massa *Mixer-01* (M-01)

Tabel 3. 8 Neraca Massa *Mixer-01*

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 3	Arus 11	Arus 4
CH4N2O	25.248,315	88.385,121	113.633,436
H2O	0	0	0
(H2NCO)2NH	0,351	1.153,288	1.153,639
NH3	0	0	0
CO2	0	0	0
C3N6H6	0	0	0
Sub Total	25.248,666	89.538,409	114.787,075
TOTAL	114.787,075	114.787,075	

3.4.3 Neraca Massa *Splitting Point*

Tabel 3. 9 Neraca Massa *Splitting Point*

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 4	Arus 5	Arus 6
CH4N2O	113.633,4363	87.058,0808	26.575,36
H2O	0	0	0
(H2NCO)2NH	1.153,6389	883,3884	269,80
NH3	0	0	0
CO2	0	0	0
C3N6H6	0	0	0
Sub Total	114.787,0752	87.941,9192	26.845,16
TOTAL	114.787,0782	114.787,0752	

3.4.4 Neraca Massa Reaktor-01 (R-01)

Tabel 3. 10 Neraca Massa Reaktor-01

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 6	Arus 13	Arus 7
CH4N2O	26.575,355	0	1.328,768
H2O	0,000	0	0
(H2NCO)2NH	269,801	0	269,801
NH3	0	11.584,129	18.737,329
CO2	0	14.991,226	24.248,308
C3N6H6	0	0	8.836,306
Sub Total	26.845,156	26.575,355	53.420,512
TOTAL	53.420,512	53.420,512	

3.4.5 Neraca Massa Desublimer-01 (DS-01)

Tabel 3. 11 Neraca Massa Desublimer-01

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 7	Arus 8
CH4N2O (g)	1.328,768	1.327,040
H2O (g)	0	0
(H2NCO)2NH (g)	269,801	269,450
NH3 (g)	18.737,329	18.737,329
CO2 (g)	24.248,308	24.248,308
C3N6H6 (g)	8.836,306	0
C3N6H6 (s)	0	8.836,306
CH4N2O (s)	0	1,727
(H2NCO)2NH (s)	0	0,351
Sub Total	53.420,512	53.420,512
TOTAL	53.420,512	53.420,512

3.4.6 Neraca Massa Cyclone-01 (CY-01)

Tabel 3. 12 Neraca Massa Cyclone-01

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 8	Arus 9	Arus 10
CH4N2O (g)	1.327,040	1.327,040	0
H2O (g)	0	0	0
(H2NCO)2NH (g)	269,450	269,450	0
NH3 (g)	18.737,329	18.737,329	0
CO2 (g)	24.248,308	24.248,308	0
C3N6H6 (s)	8.836,306	0	8.836,306
CH4N2O (s)	1,727	0	1,727
(H2NCO)2NH (s)	0,351	0	0,351
Sub Total	53.420,512	44.582,128	8.838,384
TOTAL	53.420,512	53.420,512	

3.4.7 Neraca Massa Scrubber-01 (T-01)

Tabel 3. 13 Neraca Massa Scrubber-01

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 9	Arus 11	Arus 12
CH4N2O	87.058,081	1.327,040	88.385,121	0
H2O	0	0	0	0
(H2NCO)2NH	883,838	269,450	1.153,288	0
NH3	0	18.737,329	0	18.737,329
CO2	0	24.248,308	0	24.248,308
C3N6H6	0	0	0	0
Sub Total	87.941,919	44.582,128	89.538,409	42.985,638
TOTAL	132.524,047		132.524,047	

3.4.8 Neraca Massa *Purging*

Tabel 3. 14 Neraca Massa *Purging*

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 12	Arus 13	Arus 14
CH4N2O	0	0	0
H2O	0	0	0
(H2NCO)2NH	0	0	0
NH3	18.737,3292	11.584,13	7.153,1999
CO2	24.248,3083	14.991,23	9.257,0822
C3N6H6	0	0	0
Sub Total	42.985,638	26.575,355	16.410,282
TOTAL	42.985,638	42.985,638	

3.4.9 Neraca Massa Total

Tabel 3. 15 Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 1	Arus 2	Arus 10	Arus 14
CH4N2O	25.248,315	0	1,727	0
H2O	256,328	256,328	0	0
(H2NCO)2NH	0	0	0,351	0
NH3	0	0	0	7.153,200
CO2	0	0	0	9.257,082
C3N6H6	0	0	8.836,306	0
Sub Total	25.504,994	256,328	8.838,384	16.410,282
Total	25.504,994	25.504,994		

3.5 **Tabel Neraca Panas**

3.5.1 **Neraca Panas *Melter***

Tabel 3. 16 Neraca Panas di *Melter*-01

<i>MELTER</i>		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q_{in}	203.474,98	
Q_{out}		7.125.015,762
$Q_{Pemanas}$	6.921.540,78	
Total	7.125.015,762	7.125.015,762

3.5.2 **Neraca Panas Reaktor**

Tabel 3. 17 Neraca Panas di Reaktor

REAKTOR		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
$Q_{Arus\ 6}$	6.248.413,336	
$Q_{Arus\ 13}$	15.905.840,48	
$Q_{Arus\ 7}$		29.171.829,964
Q_{reaksi}		473,980
$Q_{Pemanas}$	7.018.050,132	
Total	29.172.303,944	29.172.303,944

3.5.3 Neraca Panas *Desublimer*

Tabel 3. 18 Neraca Panas di *Desublimer-01*

<i>DESUBLIMER</i>		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q_{in}	25.456.780,56	
Q_{out}		11.655.687,470
$Q_{Desublimasi}$		13.799.185,39
Total	25.456.780,56	25.456.780,56

3.5.4 Neraca Panas *Scrubber*

Tabel 3. 19 Neraca Panas di *Scrubber*

<i>SCRUBBER</i>		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
$Q_{Arus\ 9}$	10.245.457,873	
$Q_{Arus\ 5}$	24.728.231,269	
$Q_{Arus\ 11}$		25.145.956,310
$Q_{Arus\ 12}$		7.954.865,46
$Q_{Perubahan\ fase}$		1.872.867,370
Total	34.973.689,142	34.973.689,142

3.5.5 Neraca Panas Kompresor

Tabel 3. 20 Neraca Panas di Kompresor

KOMPRESOR		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q_{in}	4.918.000,285	
Q_{out}		12.299.554,873
$Q_{Kompresi}$	7.381.554,588	
Total	12.299.554,873	12.299.554,873

3.5.6 Neraca Panas *Cooling Screw Conveyor*

Tabel 3. 21 Neraca Panas *Cooling Screw Conveyor-01*

COOLING SCREW CONVEYOR		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q_{in}	10.900.355,225	
Q_{out}		10.899.749,672
$Q_{Pendingin}$		605,553
Total	10.900.355,225	10.900.355,225

3.5.7 Neraca Panas Heater-01

Tabel 3. 22 Neraca Panas di Heater-01

HEATER-01		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q _{in}	12.299.554,873	
Q _{out}		15.905.840,476
Q _{Pemanas}	3.606.285,603	
Total	15.905.840,476	15.905.840,476

3.5.8 Neraca Panas Heater-02

Tabel 3. 23 Neraca Panas di Heater-02

HEATER-02		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q _{in}	6.371.027,929	
Q _{out}		7.130.816,381
Q _{Pemanas}	759.788,452	
Total	7.130.816,381	7.130.816,381

3.5.9 Neraca Panas Cooler

Tabel 3. 24 Neraca Panas di Cooler-01

COOLER		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q _{in}	11.715.721,584	
Q _{out}		10.298.630,946
Q _{Pendingin}		1.417.090,639
Total	11.715.721,584	11.715.721,584

3.5.10 Neraca Panas Expansion Valve

Tabel 3. 25 Neraca Panas di Expansion Valve

Expansion Valve		
Komponen	Input	Output
	kJ/jam	
Q _{in}	26.489.298,826	
Q _{out}		25.456.780,558
Q _{Ekspansi}		1.032.518,268
Total	26.489.298,826	26.489.298,826

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan keputusan strategis yang perlu dilakukan secara cermat dalam perancangan suatu pabrik untuk menghasilkan produk tertentu. Terdapat beberapa faktor penting yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik. Faktor-faktor tersebut meliputi sumber bahan baku, area pemasaran, ketersediaan transportasi, tenaga kerja, kondisi sosial, serta peluang pengembangan di masa mendatang.

Faktor sumber bahan baku menjadi prioritas utama agar pasokan bahan dapat diperoleh secara cepat dan stabil dengan biaya logistik yang minimal. Area pemasaran dipilih untuk mempercepat distribusi produk ke konsumen akhir. Ketersediaan transportasi sangat diperlukan guna mendukung kelancaran pengiriman bahan baku maupun produk jadi. Sementara itu, ketersediaan tenaga kerja, kondisi sosial masyarakat, serta peluang pengembangan di masa depan juga turut memengaruhi keberlanjutan operasional pabrik.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, lokasi pabrik Melamin dipilih di Kawasan Industri JIPE (*Java Integrated Industrial and Ports Estate*), Desa Manyar, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pemilihan lokasi ini dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut:

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor primer sangat berpengaruh terhadap tujuan utama pendirian pabrik industri, yaitu kelancaran proses produksi dan distribusi produk. Faktor-faktor tersebut antara lain:

a. Sumber Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan adalah urea yang diperoleh dari PT Petrokimia Gresik. Lokasi pabrik di Kawasan JIPE Manyar ini berada pada jarak sekitar 12–15 km dari PT Petrokimia Gresik. Kedekatan ini memungkinkan proses penyaluran urea cair dapat dilakukan dengan cepat, efisien, dan biaya pengangkutan yang rendah melalui jalur darat. Selain itu, infrastruktur jalan di dalam kawasan industri JIPE semakin mendukung kelancaran logistik bahan baku.

b. Area Pemasaran

Pemilihan lokasi di Kawasan JIPE Gresik bertujuan agar pendistribusian produk melamin dapat dilakukan secara lebih cepat dan tepat waktu ke konsumen di wilayah Jawa Timur, Jawa Tengah, serta pasar ekspor, sehingga meningkatkan daya saing dan keberlanjutan produksi.

c. Transportasi

Transportasi bahan baku dan produk berjalan sangat lancar karena lokasi pabrik berada di dalam Kawasan Industri JIPE yang terintegrasi dengan Pelabuhan Laut Dalam JIPE. Akses ke jalan raya utama Gresik–Surabaya, Pelabuhan Gresik, serta Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya juga sangat mudah. Keberadaan pelabuhan terintegrasi ini meminimalkan hambatan logistik dan sangat mendukung pengiriman bahan baku maupun distribusi produk akhir ke pasar domestik dan internasional.

d. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan faktor penting dalam pemilihan lokasi pabrik. Industri ini membutuhkan tenaga kerja yang cukup banyak, baik lulusan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), Sekolah Menengah Atas (SMA), maupun sarjana. Di sekitar Kabupaten Gresik dan Surabaya tersedia tenaga kerja yang memadai. Kriteria utama dalam perekrutan meliputi kedisiplinan, pengalaman kerja, dan kompetensi, sehingga

diperoleh sumber daya manusia yang berkualitas dan siap mendukung operasional pabrik.

e. Utilitas

Utilitas atau unit pendukung proses memegang peranan yang sangat penting dalam menjaga kelancaran operasi pabrik. Keberadaan Kali Lamong yang berjarak sangat dekat dengan lokasi pabrik menjadi salah satu keunggulan utama, karena dapat dimanfaatkan sebagai sumber air baku yang melimpah dan stabil sepanjang tahun untuk kebutuhan proses produksi, air pendingin, serta utilitas lainnya. Jenis utilitas yang diperlukan meliputi penyediaan air, *steam*, listrik, udara tekan, bahan bakar, serta pengolahan limbah.

f. Letak Geografis

Lokasi yang dipilih berada di daerah dataran rendah dengan iklim tropis yang stabil. Suhu udara rata-rata berkisar antara 22°C hingga 33°C. Kedekatan dengan Kali Lamong juga memberikan keuntungan tambahan sebagai sumber air pendingin dan proses.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor sekunder merupakan aspek yang perlu dipertimbangkan untuk mendukung pengembangan dan keberlanjutan pabrik industri di masa yang akan datang. Faktor-faktor ini sangat berpengaruh terhadap kelangsungan proses produksi serta kemampuan ekspansi perusahaan. Faktor-faktor tersebut meliputi:

a. Perluasan Area Pabrik

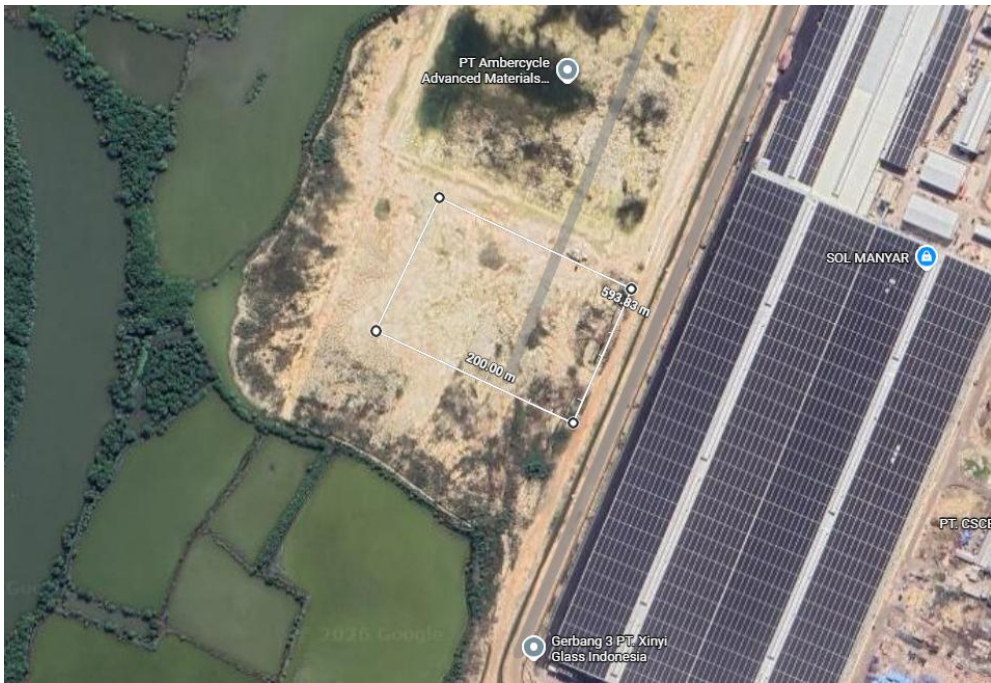
Lokasi di dalam Kawasan JIPE Manyar memiliki keunggulan besar untuk pengembangan di masa depan. Kawasan ini dirancang untuk ekspansi, sehingga memungkinkan pabrik melakukan perluasan area secara horizontal maupun vertikal apabila diperlukan penambahan kapasitas produksi atau peralatan baru.

b. Perizinan

Karena berada di dalam Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) JIPE, proses perizinan menjadi jauh lebih mudah dan terintegrasi. Segala izin terkait pendirian pabrik, AMDAL, izin lingkungan, serta izin operasional dapat diproses lebih cepat sesuai dengan regulasi KEK. Hal ini merupakan keunggulan signifikan dibandingkan lokasi di luar kawasan industri. Tata letak pabrik juga harus memperhatikan aspek keamanan, keselamatan kerja, kemudahan operasional, pemanfaatan lahan yang efisien, serta sistem transportasi internal kawasan yang sangat baik.

c. Prasarana dan Fasilitas Sosial

Kawasan JIPE dilengkapi dengan prasarana industri modern dan fasilitas sosial yang memadai. Akses jalan raya, listrik, air, serta sistem drainase sudah tersedia dengan baik. Fasilitas pendukung seperti sarana kesehatan, pendidikan, tempat ibadah, perbankan, dan perumahan karyawan juga mudah dijangkau di wilayah Manyar dan Gresik, sehingga mendukung kesejahteraan karyawan dan kelancaran operasional.



Gambar 4. 1 Lokasi Pabrik Melamin akan Didirikan

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik meliputi pengaturan posisi mesin, material, tenaga kerja, serta fasilitas pendukung lainnya secara terintegrasi. Penyusunan tata letak yang tepat memberikan beberapa keuntungan penting, antara lain pengurangan biaya penanganan material, penurunan risiko kecelakaan kerja, keseimbangan alur produksi, minimnya gangguan operasional mesin, serta pemanfaatan lahan yang lebih efisien.

Tujuan utama dari tata letak pabrik adalah menciptakan proses produksi yang lancar, efektif, ekonomis, serta memberikan kenyamanan dalam operasional. Dengan tata letak yang dirancang secara baik, penggunaan lahan dapat dimaksimalkan, waktu tunggu dan antrian dapat dikurangi, serta distribusi bahan baku dan pergerakan tenaga kerja menjadi lebih efisien. Hal tersebut pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas kerja karyawan.

Lahan yang dibutuhkan untuk pabrik melamin meliputi beberapa area fungsional sebagai berikut:

a. Ruang Perkantoran, Laboratorium, dan Fasilitas Pendukung

Ruang perkantoran berfungsi sebagai pusat kegiatan administrasi dan keuangan untuk mendukung kelancaran operasional pabrik. Laboratorium digunakan sebagai pusat pengendalian kualitas dan kuantitas bahan baku serta produk akhir. Fasilitas pendukung karyawan mencakup poliklinik, kantin, aula, dan masjid guna menunjang kesejahteraan dan produktivitas tenaga kerja.

b. Ruang Proses Produksi dan Kontrol

Ruang proses produksi merupakan area utama yang menampung seluruh peralatan pengolahan utama. Sedangkan ruang kontrol berfungsi sebagai pusat pemantauan dan pengendalian seluruh proses produksi secara real-time.

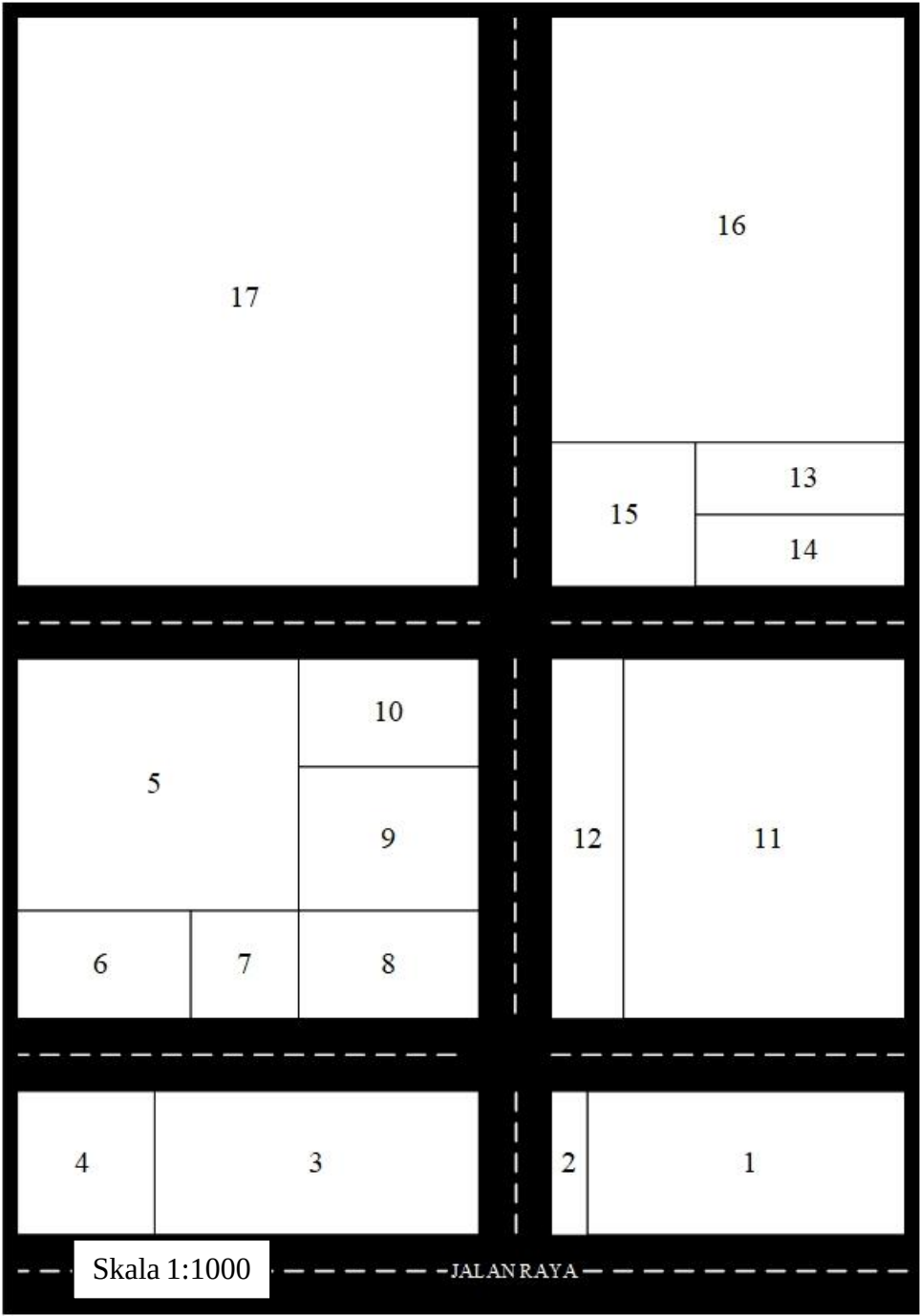
c. Ruang Penyimpanan Produk

Ruang penyimpanan produk difungsikan untuk menyimpan produk jadi yang telah dikemas. Area ini harus dirancang bersih, kering, memiliki ventilasi yang baik,

terhindar dari paparan sinar matahari langsung, serta bebas dari gangguan hewan pengganggu agar kualitas produk tetap terjaga hingga didistribusikan ke konsumen.

d. Ruang Utilitas dan Pemadam Kebakaran

Ruang utilitas berperan sebagai pusat penyediaan air, *steam*, air pendingin, listrik, dan udara tekan yang mendukung kelancaran proses produksi. Area ini juga mencakup fasilitas pemadam kebakaran sebagai bagian dari sistem keselamatan industri.



Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik

Keterangan:

1. Taman

2. Pos Keamanan

3. Parkir Mobil dan Motor

4. Mess

5. Kantor

6. Perpustakaan

7. Kantin

8. Poliklinik

9. Masjid
10. Laboratorium

11. Area Utilitas

12. Area Parkir Truk

13. Gudang Peralatan

14. Bengkel

15. Area Pemadam Kebakaran

16. Area Proses

17. Area Perluasan

Adapun tabel perincian luas tanah bangunan pabrik sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Luas Lokasi Pabrik

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m2)
1	Taman	45	20	900
2	Pos Keamanan	20	5	100
3	Area Parkir Mobil dan Motor	45	20	900
4	Mess	20	20	400
5	Kantor	40	35	1400
6	Perpustakaan	25	15	375
7	Kantin	15	15	225
8	Poliklinik	25	15	375
9	Masjid	25	20	500
10	Laboratorium	25	15	375
11	Area Utilitas	50	40	2000
12	Area Parkir Truk	50	10	500
13	Gudang Peralatan	30	10	300
14	Bengkel	30	10	300
15	Area Pemadam Kebakaran	20	20	400
16	Area Proses	60	50	3000
17	Area Perluasan	80	65	5200
18	Jalan Vertikal	170	10	1700
19	Jalan Horizontal (2)	250	10	2300
Luas Bangunan				11150

Luas Tanah	10100
Total	21250

4.3 Tata Letak Mesin / Alat Proses

Dalam perancangan tata letak peralatan proses di pabrik, terdapat beberapa hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaturan aliran bahan baku dan produk yang baik dapat memberikan keuntungan ekonomis serta mendukung kelancaran dan keamanan proses produksi.

2. Aliran Udara

Sirkulasi udara di dalam maupun di sekitar area proses harus dijaga agar tetap baik. Hal ini bertujuan untuk mencegah penumpukan udara yang mengandung bahan kimia berbahaya. Selain itu, arah angin juga perlu diperhatikan dalam proses perancangan.

3. Pencahayaan

Seluruh area pabrik harus memiliki sistem pencahayaan yang memadai. Pada area dengan tingkat risiko tinggi, perlu disediakan pencahayaan tambahan untuk meningkatkan keselamatan kerja.

4. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Tata letak peralatan harus memungkinkan pekerja menjangkau seluruh unit proses dengan mudah dan cepat, terutama ketika terjadi gangguan. Selain itu, faktor keselamatan pekerja selama melakukan aktivitas juga harus menjadi prioritas utama.

5. Pertimbangan ekonomi

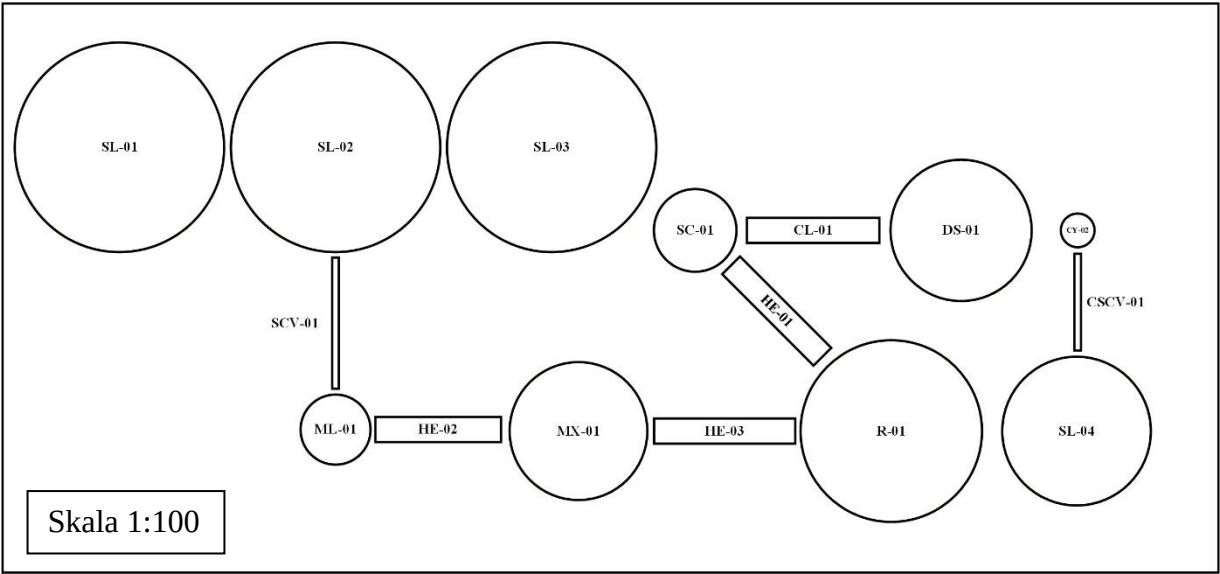
Penempatan peralatan proses harus dirancang untuk meminimalkan biaya operasional sekaligus menjaga kelancaran dan keamanan produksi, sehingga memberikan keuntungan secara ekonomi.

6. Jarak antar alat proses

Peralatan yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi sebaiknya ditempatkan terpisah dari unit lain. Hal ini bertujuan untuk mengurangi risiko penyebaran dampak jika terjadi ledakan atau kebakaran.

Tata letak proses yang baik harus dirancang sedemikian rupa sehingga:

- 1. Menjamin kelancaran proses produksi.
- 2. Mengoptimalkan penggunaan area pabrik.
- 3. Mengurangi biaya penanganan material (*material handling*).
- 4. Meminimalkan kebutuhan alat angkut yang mahal melalui alur proses yang efisien.
- 5. Meningkatkan kenyamanan dan kepuasan kerja karyawan.



Gambar 4. 3 Tata Letak Mesin

Keterangan:

- SL-01, 02, 03 : Silo Bahan Baku Urea
- SL-04 : Silo Produk Melamin
- SCV-01 : *Screw Conveyor*
- CSCV-01 : *Cooling Screw Conveyor*
- ML-01 : *Melter*
- MX-01 : *Mixer*
- R-01 : Reaktor *Fluidized Bed*
- DS-01 : *Desublimer*
- CY-02 : *Cyclone*
- SC-01 : *Scrubber*

HE : *Heater*

CL-01 : *Cooler*

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Pabrik Melamin dengan kapasitas 70.000 ton/tahun direncanakan berbentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan bentuk badan usaha yang memperoleh modal melalui penjualan saham kepada masyarakat. Setiap pemegang saham memiliki satu atau lebih saham yang diterbitkan oleh perusahaan. Saham tersebut merupakan surat berharga yang menunjukkan penyertaan modal, sehingga pemegang saham turut memiliki perusahaan sesuai dengan proporsi saham yang dimilikinya. Dalam bentuk PT, tanggung jawab pemegang saham hanya terbatas pada nilai nominal saham yang telah disetor.

Pemilihan bentuk perusahaan Perseroan Terbatas didasarkan atas beberapa pertimbangan utama, yaitu:

1. Kemudahan dalam memperoleh modal, karena perusahaan dapat menerbitkan saham untuk menarik dana dari masyarakat luas.
2. Tanggung jawab pemegang saham bersifat terbatas, sehingga risiko pribadi dapat diminimalkan dan kelancaran operasional produksi sepenuhnya berada di tangan pengurus perusahaan.
3. Pemisahan yang jelas antara pemilik dan pengelola perusahaan. Pemilik adalah pemegang saham, sedangkan pengelolaan sehari-hari dilakukan oleh direksi yang diawasi oleh dewan komisaris.
4. Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin, karena tidak terpengaruh oleh pergantian pemegang saham, direksi, atau karyawan.
5. Efisiensi manajemen, karena pemegang saham dapat memilih dewan komisaris dan direksi yang berpengalaman dan kompeten.

6. Peluang usaha yang lebih luas, sebab perusahaan Perseroan Terbatas mampu menarik modal yang besar dari masyarakat untuk memperluas skala operasional.

4.4.2 Struktur Organisasi

Organisasi merupakan wadah yang menyatukan sekelompok orang yang memiliki visi dan tujuan yang sama untuk mencapai sasaran perusahaan secara bersama-sama. Struktur organisasi adalah gambaran sistematis mengenai pembagian tugas, tanggung jawab, serta hubungan antar bagian dalam suatu perusahaan. Bentuk struktur organisasi dapat bervariasi sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik masing-masing perusahaan. Jenjang kepemimpinan dalam pabrik Melamin ini disusun sebagai berikut:

- a. Pemegang Saham
- b. Dewan Komisaris
- c. Direktur Utama
- d. Direktur
- e. Kepala Bagian
- f. Kepala Seksi
- g. Karyawan

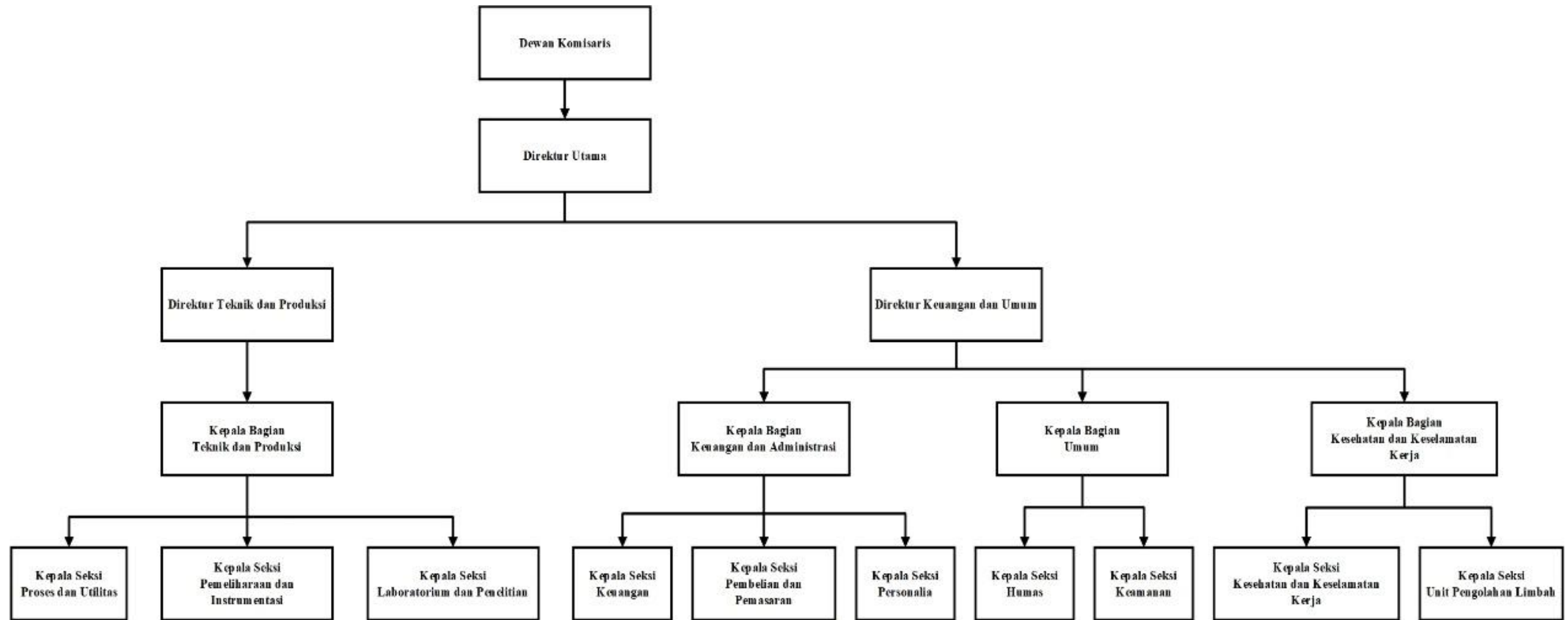
Pemegang saham sebagai pemilik perusahaan diwakili oleh Dewan Komisaris dalam pelaksanaan tugas pengawasan. Sementara itu, pengelolaan operasional perusahaan sehari-hari dilakukan oleh Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Operasional serta Direktur Keuangan dan Umum. Direktur Operasional membawahi bidang produksi, utilitas, pemeliharaan, pengembangan, serta pengendalian mutu. Sedangkan Direktur Keuangan dan Umum membawahi bidang pemasaran, administrasi, bagian umum, keamanan, keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan.

Setiap Kepala Bagian membawahi beberapa Kepala Seksi (Supervisor), yang selanjutnya mengawasi dan membimbing karyawan atau staf di bidangnya masing-masing. Karyawan dibagi dalam beberapa regu kerja yang dipimpin oleh Kepala Regu.

Kepala Regu bertanggung jawab langsung kepada Kepala Seksi sebagai pengawasnya.

Adanya struktur organisasi ini memberikan beberapa manfaat penting, yaitu:

1. Menjelaskan secara jelas batas wewenang, tugas, tanggung jawab, dan hubungan antar bagian;
2. Memberikan bahan orientasi bagi pejabat baru;
3. Memungkinkan penempatan pegawai yang lebih tepat sesuai kompetensi;
4. Menjadi dasar penyusunan program pengembangan manajemen;
5. Memungkinkan peninjauan dan perbaikan prosedur kerja apabila terdapat ketidakefisienan.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

1. Pemegang Saham

Pemegang saham merupakan pemilik perusahaan yang menyediakan modal untuk pendirian dan kelangsungan operasional perusahaan. Dalam bentuk Perseroan Terbatas (PT), kekuasaan tertinggi berada di tangan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Dalam rapat tersebut, pemegang saham berwenang untuk:

1. Mengangkat dan memberhentikan anggota Dewan Komisaris
2. Mengangkat dan memberhentikan Direktur
3. Mengesahkan laporan tahunan, neraca keuangan, serta perhitungan laba rugi perusahaan

2. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris bertindak sebagai wakil pemegang saham dan bertanggung jawab langsung kepada mereka. Tugas utama Dewan Komisaris meliputi:

- a. Menilai dan menyetujui rencana kerja Direksi yang mencakup kebijakan umum, target laba, alokasi dana, serta strategi pemasaran
- b. Melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan tugas Direksi
- c. Memberikan bantuan dan masukan kepada Direktur Utama dalam pengambilan keputusan penting

3. Direktur Utama

Direktur Utama adalah pimpinan tertinggi perusahaan yang bertanggung jawab penuh atas keberhasilan dan kegagalan perusahaan. Ia bertanggung jawab langsung kepada Dewan Komisaris atas semua kebijakan dan tindakan yang diambil. Direktur Utama membawahi dua direktur, yaitu:

1. **Direktur Teknik dan Produksi**

Bertugas memimpin seluruh kegiatan produksi, operasional pabrik, pengembangan, pemeliharaan peralatan, pengadaan, serta pengelolaan laboratorium.

2. **Direktur Keuangan dan Umum**

Bertanggung jawab atas bidang administrasi, kepegawaian (personalia), keuangan, pemasaran, hubungan masyarakat (humas), keamanan, dan keselamatan kerja.

4. **Kepala Bagian**

Secara umum, Kepala Bagian bertugas mengkoordinasikan, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan di bagiannya sesuai dengan petunjuk dari pimpinan perusahaan. Kepala Bagian bertanggung jawab kepada direktur masing-masing dan dapat berperan sebagai staf direktur. Adapun kepala bagian di perusahaan ini terdiri dari:

1. **Kepala Bagian Produksi dan Teknik**

Bertugas mengkoordinasikan proses produksi, penyediaan bahan baku dan utilitas, pemeliharaan fasilitas, penelitian dan pengembangan, serta pengawasan mutu produk.

2. **Kepala Bagian Keuangan dan Administrasi**

Bertanggung jawab atas kegiatan pemasaran, pengadaan barang, pembukuan keuangan, serta urusan tata usaha, kepegawaian, dan rumah tangga perusahaan.

3. Kepala Bagian Umum

Bertanggung jawab terhadap hubungan perusahaan dengan masyarakat serta menjaga keamanan perusahaan secara keseluruhan.

4. Kepala Bagian Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan

Bertugas menjaga keamanan pabrik serta mengawasi kesehatan dan keselamatan kerja karyawan.

5. **Kepala Seksi**

Secara umum, Kepala Seksi bertugas melaksanakan pekerjaan di lingkungan bagiannya sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan oleh Kepala Bagian. Setiap Kepala Seksi bertanggung jawab kepada Kepala Bagian terkait. Berikut adalah tugas masing-masing Kepala Seksi:

1. Kepala Seksi Proses dan Utilitas

Memimpin dan memantau penyediaan air, *steam*, bahan baku, serta udara tekan untuk proses produksi dan instrumentasi, serta menjaga kualitas bahan baku dan produk yang dihasilkan.

2. Kepala Seksi Pemeliharaan dan Instrumentasi

Bertanggung jawab atas perawatan, perbaikan, dan penggantian peralatan serta fasilitas pendukung, termasuk penyediaan listrik dan kelancaran sistem instrumentasi.

3. Kepala Seksi Laboratorium dan Penelitian

Mengkoordinasikan kegiatan peningkatan produksi dan efisiensi, serta melaksanakan pengendalian mutu terhadap bahan baku, bahan pembantu, produk, dan limbah.

4. Kepala Seksi Keuangan

Bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan pembukuan, pencatatan keuangan, dan pengelolaan urusan keuangan perusahaan secara keseluruhan.

5. Kepala Seksi Pembelian dan Pemasaran

Bertugas mengkoordinasikan kegiatan pengadaan bahan baku serta pemasaran produk perusahaan.

6. Kepala Seksi Personalia

Bertanggung jawab mengkoordinasikan semua urusan kepegawaian, termasuk administrasi karyawan dan hubungan industrial.

7. Kepala Seksi Humas

Bertugas menangani hubungan perusahaan dengan pemerintah, masyarakat, dan pihak terkait lainnya.

8. Kepala Seksi Keamanan

Bertanggung jawab langsung terhadap pengawasan dan penjagaan keamanan perusahaan secara keseluruhan.

9. Kepala Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Bertugas mengurus kesehatan karyawan beserta keluarganya serta menangani keselamatan kerja di lingkungan perusahaan..

10. Kepala Seksi Unit Pengolahan Limbah

Bertanggung jawab agar pengelolaan dan pengolahan limbah pabrik sesuai dengan baku mutu lingkungan yang ditetapkan.

4.4.4 Ketenagakerjaan

Perkembangan suatu perusahaan sangat dipengaruhi oleh kualitas sumber daya manusia yang ditempatkan sesuai dengan keahlian dan bidang kerjanya. Tenaga kerja merupakan faktor penting yang menentukan kelancaran proses produksi dan operasional pabrik. Oleh karena itu, perusahaan perlu menjaga hubungan yang harmonis antara karyawan dan perusahaan melalui komunikasi yang baik serta penyediaan fasilitas yang memadai.

Salah satu upaya nyata yang dilakukan perusahaan adalah menerapkan sistem pengupahan yang sesuai dengan Upah Minimum Regional (UMR) guna meningkatkan kesejahteraan karyawan. Besaran upah yang diterima karyawan berbeda-beda, tergantung pada status kepegawaian, jabatan, tanggung jawab, serta tingkat keahlian masing-masing. Berdasarkan statusnya, karyawan perusahaan dibedakan menjadi tiga golongan:

1. Karyawan Tetap

Karyawan yang diangkat dan diberhentikan melalui Surat Keputusan (SK) Direksi serta menerima gaji bulanan sesuai dengan jabatan, keahlian, dan masa kerjanya.

2. Karyawan Harian

Karyawan yang diangkat dan diberhentikan oleh Direksi tanpa SK, serta menerima upah harian yang dibayarkan setiap akhir pekan.

3. Karyawan Borongan

Karyawan yang diperbantukan hanya ketika dibutuhkan saja, dengan sistem pengupahan berupa upah borongan untuk pekerjaan tertentu.

4.4.5 Jadwal Kerja Karyawan

Pabrik Melamin direncanakan beroperasi secara kontinu selama 24 jam sehari dengan total 330 hari kerja dalam setahun. Sisanya digunakan untuk kegiatan perawatan dan perbaikan pabrik.

Catatan Hari Kerja dan Liburan Karyawan antara lain yaitu:

a. Cuti Tahunan

Setiap karyawan berhak mendapatkan cuti tahunan selama 12 hari per tahun. Apabila hak cuti tersebut tidak digunakan dalam satu tahun, maka hak cuti akan hangus dan tidak dapat diakumulasi ke tahun berikutnya.

b. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan harian (*nonshift*), hari libur nasional tidak diwajibkan masuk kerja. Bagi karyawan *shift*, hari libur nasional tetap diwajibkan masuk kerja dan hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*).

c. Kerja Lembur (*Overtime*)

Kerja lembur dapat dilakukan apabila terdapat keperluan mendadak dan telah mendapatkan persetujuan dari Kepala Bagian. Karyawan perusahaan dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu karyawan *nonshift* dan karyawan *shift*.

1. Karyawan *Nonshift*

Karyawan *nonshift* adalah karyawan yang tidak terlibat langsung dalam proses produksi. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah Direktur, Manajer, Kepala Bagian, serta staff kantor. Aturan kerja karyawan *nonshift* antara lain adalah bekerja 6 hari dalam seminggu dan libur pada hari Minggu serta hari libur nasional dengan total jam kerja per minggu adalah 45 jam. Jadwal kerja sebagai berikut:

- Senin – Jumat : Pukul 08.00 – 16.00 WIB
- Sabtu : Pukul 08.00 – 12.00 WIB
- Waktu Istirahat Senin–Kamis : Pukul 12.00 – 13.00 WIB
- Waktu Istirahat Hari Jumat : Pukul 12.00 – 13.30 WIB

2. Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* merupakan tenaga kerja yang terlibat langsung dalam proses produksi maupun bertanggung jawab terhadap pengawasan pada bagian yang berkaitan dengan keamanan dan kelancaran operasional pabrik. Sistem kerja *shift* yang diterapkan adalah tiga hari kerja dan satu hari libur dengan pergantian *shift* secara bergilir. Dalam satu hari, jam kerja dibagi menjadi tiga *shift* dengan durasi masing-masing selama 8 jam. Untuk mendukung sistem tersebut, dibentuk empat kelompok *shift*, di mana setiap harinya tiga kelompok bekerja sementara satu kelompok lainnya mendapatkan jadwal libur.

Jadwal *shift*:

Shift I : Pukul 08.00 – 15.00 WIB

Shift II : Pukul 15.00 – 24.00 WIB

Shift III : Pukul 24.00 – 08.00 WIB

Jam kerja normal karyawan *shift* adalah 45 jam per minggu. Kelebihan jam kerja di luar ketentuan tersebut akan dihitung sebagai kerja lembur.

Tabel 4. 2 Jadwal Pembagian Kerja Karyawan Shift

Minggu Ke-																
Shift	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
II	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A
III	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B
Off	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C

4.4.6 Perincian Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji Pegawai

Jumlah karyawan di perusahaan harus ditentukan secara tepat dan efisien agar seluruh pekerjaan dapat diselesaikan dengan baik tanpa terjadi kekurangan maupun kelebihan tenaga kerja. Penentuan jumlah karyawan dilakukan dengan mempertimbangkan jenis proses produksi, kompleksitas pekerjaan, serta jumlah unit proses yang harus dioperasikan setiap harinya. Sistem penggajian di perusahaan ini dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu:

1. Gaji Bulanan

Gaji bulanan diberikan kepada karyawan tetap (pegawai tetap). Besarnya gaji disesuaikan dengan jabatan, tanggung jawab, masa kerja, serta kebijakan pengupahan yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

2. Gaji Harian

Gaji harian diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian. Sistem ini biasanya diterapkan pada karyawan yang bekerja berdasarkan kebutuhan harian dan dibayarkan setiap akhir pekan sesuai dengan jumlah hari kerja yang telah dilakukan.

3. Gaji Lembur

Gaji lembur diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja normal yang telah ditetapkan. Besarnya upah lembur dihitung sesuai dengan ketentuan dan peraturan perusahaan serta perundang-undangan ketenagakerjaan yang berlaku.

Tabel 4. 3 Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah Orang	Gaji per Orang/Bulan	Gaji Total per Bulan
1	Dewan Komisaris	1	Rp55,000,000	Rp55,000,000
2	Direktur Utama	1	Rp50,000,000	Rp50,000,000
3	Direktur Produksi dan Teknik	1	Rp40,000,000	Rp40,000,000
4	Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp40,000,000	Rp40,000,000
5	Kepala Bagian Produksi dan Teknik	1	Rp30,000,000	Rp30,000,000
6	Kepala Bagian Keuangan dan Administrasi	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
7	Kepala Bagian Umum	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
8	Kepala Bagian K3 dan UPL	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
9	Kepala Seksi Proses dan Utilitas	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
10	Kepala Seksi Penelitian	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
11	Kepala Seksi Laboratorium	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
12	Kepala Seksi Pemeliharaan dan Instrumentasi	1	Rp25,000,000	Rp25,000,000
13	Kepala Seksi Pembelian dan Pemasaran	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
14	Kepala Seksi Administrasi	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
15	Kepala Seksi Keuangan	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
16	Kepala Seksi Personalia	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
17	Kepala Seksi Humas	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
18	Kepala Seksi Keamanan	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
19	Kepala Seksi K3	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
20	Kepala Seksi Litbang	1	Rp20,000,000	Rp20,000,000
21	Karyawan Proses dan Utilitas	42	Rp10,000,000	Rp420,000,000
22	Karyawan Laboratorium	4	Rp10,000,000	Rp40,000,000
23	Karyawan Pemeliharaan	4	Rp10,000,000	Rp40,000,000
24	Karyawan Pembelian	3	Rp10,000,000	Rp30,000,000
25	Karyawan Pemasaran	2	Rp10,000,000	Rp20,000,000
26	Karyawan Administrasi	3	Rp10,000,000	Rp30,000,000
27	Karyawan Kas	2	Rp10,000,000	Rp20,000,000
28	Karyawan Personalia	2	Rp10,000,000	Rp20,000,000
29	Karyawan Humas	2	Rp10,000,000	Rp20,000,000
30	Karyawan Keamanan	4	Rp10,000,000	Rp40,000,000
31	Karyawan K3	6	Rp10,000,000	Rp60,000,000
32	Karyawan UPL	4	Rp10,000,000	Rp40,000,000
33	Supir	4	Rp4,000,000	Rp16,000,000

No	Jabatan	Jumlah Orang	Gaji per Orang/Bulan	Gaji Total per Bulan
34	Librarian	2	Rp4,500,000	Rp9,000,000
35	Cleaning Service	6	Rp4,000,000	Rp24,000,000
36	Dokter	2	Rp10,000,000	Rp20,000,000
37	Perawat	2	Rp6,000,000	Rp12,000,000
Total		114	Rp698.500.000	Rp1.411.000.000

4.4.7 Kesejahteraan Karyawan

Perusahaan merencanakan sistem pengupahan yang adil dan terstruktur. Besarnya upah yang diberikan kepada karyawan ditentukan berdasarkan tingkat pendidikan, status kepegawaian, serta golongan jabatan yang dimiliki. Upah minimum yang diberikan kepada pekerja tidak boleh lebih rendah dari Upah Minimum Regional (UMR) yang ditetapkan oleh pemerintah, dan pelaksanaannya dilakukan sesuai dengan peraturan perusahaan serta ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

Golongan jabatan yang dimiliki karyawan sangat berpengaruh terhadap besarnya gaji pokok yang diterima. Semakin tinggi golongan seorang karyawan, semakin besar pula gaji pokok yang diperoleh. Selain itu, karyawan berhak mendapatkan kenaikan golongan secara berkala, yang didasarkan pada masa kerja, jenjang pendidikan, serta prestasi kerja yang ditunjukkan selama bertugas di perusahaan.

4.4.8 Fasilitas Karyawan

Penyediaan fasilitas yang memadai bagi karyawan merupakan salah satu upaya perusahaan untuk meningkatkan produktivitas dan menjaga semangat kerja. Fasilitas yang baik diharapkan dapat menjaga kondisi fisik (jasmani) dan mental (rohani) karyawan, sehingga mereka tidak mudah jenuh dan dapat melaksanakan tugas sehari-hari dengan optimal. Oleh karena itu, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas yang bermanfaat untuk mendukung kesejahteraan karyawan. Fasilitas-fasilitas tersebut antara lain:

a. Poliklinik

Kesehatan karyawan merupakan faktor penting yang memengaruhi efisiensi produksi. Untuk itu, perusahaan menyediakan fasilitas poliklinik yang dilengkapi dengan tenaga medis, yaitu dokter dan perawat, guna memberikan pelayanan kesehatan dasar bagi karyawan yang membutuhkan.

b. Pakaian Kerja

Perusahaan menyediakan dua pasang pakaian kerja setiap tahunnya untuk setiap karyawan. Selain itu, juga disediakan masker sebagai alat pelindung diri (APD) untuk menghindari risiko kecelakaan kerja dan menjaga keselamatan karyawan selama bekerja.

c. Makan dan Minum

Perusahaan menyediakan makan dan minum satu kali sehari bagi karyawan. Layanan ini direncanakan akan dikelola oleh perusahaan catering profesional yang ditunjuk oleh perusahaan agar kualitas dan kebersihannya terjamin.

d. Koperasi Karyawan

Koperasi karyawan didirikan untuk memudahkan para karyawan dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. Melalui koperasi ini, karyawan dapat melakukan simpan pinjam, membeli kebutuhan pokok, perlengkapan rumah tangga, serta kebutuhan lainnya dengan harga yang lebih terjangkau.

e. Tunjangan Hari Raya (THR)

Setiap tahun, perusahaan memberikan Tunjangan Hari Raya (THR) kepada karyawan menjelang Hari Raya Idul Fitri. Besarnya tunjangan ini setara dengan satu bulan gaji pokok.

f. Jamsostek

Perusahaan mendaftarkan seluruh karyawan dalam program Jaminan Sosial Tenaga Kerja (Jamsostek), yang mencakup asuransi pertanggungjawaban jiwa dan asuransi kecelakaan kerja.

g. Masjid dan Kegiatan Kerohanian

Perusahaan menyediakan fasilitas tempat ibadah berupa masjid agar karyawan dapat melaksanakan kewajiban keagamaan dengan nyaman. Selain itu, perusahaan juga mendukung kegiatan kerohanian lainnya yang dapat menunjang keseimbangan rohani karyawan.

h. Transportasi

Untuk meringankan beban pengeluaran karyawan dan meningkatkan produktivitas, perusahaan memberikan uang transport setiap hari. Tunjangan transport ini diserahkan bersamaan dengan pembayaran gaji bulanan.

i. Hak Cuti

Perusahaan memberikan hak cuti kepada karyawan sebagai berikut:

1. Cuti Tahunan

Setiap karyawan berhak mendapatkan cuti tahunan selama 12 hari kerja dalam satu tahun.

2. Cuti Massal

Setiap tahun diberikan cuti massal selama 4 hari kerja yang bertepatan dengan Hari Raya Idul Fitri.

BAB V

UTILITAS

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

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

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air dalam suatu pabrik, sumber air yang digunakan umumnya berasal dari air tanah (sumur), air sungai, air danau, maupun air laut. Pada

perancangan pabrik melamin ini, sumber air yang dipilih adalah air Sungai Solo. Pemilihan air sungai didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

- a. Ketersediaan air sungai yang relatif kontinu sehingga dapat menjamin pasokan air dan meminimalkan risiko kekurangan air selama operasi pabrik.
- b. Proses pengolahan air sungai cenderung lebih sederhana dan ekonomis dibandingkan dengan pengolahan air laut yang membutuhkan teknologi lebih kompleks serta biaya yang lebih tinggi.

Pada umumnya kebutuhan air pada pabrik digunakan untuk keperluan:

5.1.1.1 Air Pendingin

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

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

- Adanya partikel berukuran besar seperti kotoran, organisme air, dan material tersuspensi lainnya.
- Kandungan partikel berukuran kecil seperti alga dan mikroorganisme yang dapat menyebabkan *fouling*.
- Secara umum, air banyak digunakan sebagai media pendingin karena beberapa keunggulan berikut:
- Ketersediaannya melimpah di alam.
- Mudah diolah dan dikontrol penggunaannya.

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

5.1.1.2 Air Umpan *Boiler*

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

- Zat penyebab korosi

Korosi pada *boiler* umumnya disebabkan oleh adanya zat-zat bersifat asam serta gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S , dan NH_3 yang masuk akibat proses aerasi maupun kontak dengan udara. Keberadaan zat-zat tersebut dapat merusak material *boiler* secara bertahap.

- Zat pembentuk kerak (*scaling*)

Kerak terbentuk akibat adanya kandungan kesadahan dalam air, terutama garam-garam kalsium dan magnesium, serta silika yang mengendap pada suhu tinggi. Endapan ini dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas pada *boiler*.

- Zat penyebab pembusaan (*foaming*)

Pembentukan busa biasanya terjadi karena adanya senyawa organik yang tidak larut dalam jumlah cukup besar. Kondisi ini cenderung meningkat pada air dengan tingkat alkalinitas tinggi dan dapat mengganggu operasi *boiler*.

5.1.1.3 Air Sanitasi

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

1. Syarat fisika, antara lain:

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

2. Syarat kimia, antara lain:

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

5.1.1.4 Air Pemadam Kebakaran dan Bengkel

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

Oleh karena itu, air pemadam kebakaran harus selalu disiapkan dan disimpan dalam sistem penyediaan air, seperti bak penampungan air servis. Selain untuk pemadaman kebakaran, air ini juga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan di area bengkel.

5.1.2 Kebutuhan Air

1. Air Pendingin

Kebutuhan air pendingin pada pabrik melamin dari urea ini dapat dilihat pada tabel

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin

Nama alat	Jumlah (kg/jam)
CL-01	16988
CSCV-01	7,2594
Total	16995

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20%, sehingga kebutuhan air pendingin menjadi 20394,34 kg/jam. Didapatkan juga untuk *make-up water* adalah sejumlah 115,568 kg/jam.

2. Air Steam

Kebutuhan air *steam* pada pabrik melamin dari urea ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Steam

Nama alat	Jumlah (kg/jam)
ML-01	2538,273
HE-01	1316,811
HE-02	276,697
HE-03	976,791
Total	5108,573

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20%, sehingga kebutuhan air *steam* menjadi 6130,288 kg/jam.

3. Air Sanitasi

Kebutuhan air sanitasi pada pabrik melamin dari urea ini dapat dilihat pada tabel:

Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Sanitasi

Kebutuhan air	Jumlah (kg/jam)
Bengkel	12,5
Poliklinik	20,833
Laboratorium	20,833
Pemadam kebakaran	250
Kantin, musola, kebun, dll	416,667
Total	720,833

Kebutuhan air sanitasi terdiri dari kebutuhan air pada bengkel, poliklinik, laboratorium, pemadam kebakaran, kebun, mushola, kantin, kantor, mess dan lain-lain. Maka perkiraan kebutuhan total air sanitasi yang diperlukan adalah 720,833 kg/jam.

5.1.3 Unit Pengolahan Air

Air yang akan digunakan dalam proses industri terlebih dahulu diambil dari sumber terdekat, yaitu Sungai Parung Kadali, yang dinilai mampu memenuhi kebutuhan operasional pabrik. Sebelum digunakan, air tersebut harus melalui serangkaian tahapan pengolahan untuk memastikan kualitasnya sesuai dengan kebutuhan proses. Berikut merupakan tahapan-tahapan dalam pengolahan air:

5.1.3.1 Penyaringan (*Screening*)

Pada tahap awal, air yang berasal dari sumber sekitar pabrik terlebih dahulu melalui proses penyaringan untuk memenuhi standar penggunaan. Proses *Screening* bertujuan untuk memisahkan partikel padat berukuran besar yang terbawa aliran air. Air hasil penyaringan selanjutnya dialirkan menuju bak pengendapan awal.

5.1.3.2 Bak Pengendapan Awal / Sedimentasi (BU-01)

Setelah proses penyaringan, air dialirkan ke dalam bak pengendapan awal (BU-01). Di dalam unit ini, partikel-partikel kotoran akan mengendap secara gravitasi.

Waktu tinggal air dalam bak ini berkisar antara 4 hingga 24 jam untuk memastikan proses pengendapan berlangsung optimal.

5.1.3.3 Bak Penggumpal (BU-02)

Air yang masih mengandung partikel tersuspensi kemudian diproses dalam bak penggumpal (BU-02). Pada tahap ini ditambahkan bahan kimia seperti aluminium sulfat dan natrium karbonat untuk menggumpalkan partikel halus agar lebih mudah diendapkan. Proses ini berlangsung sekitar 2 jam sebelum air dialirkan ke unit *Clarifier*.

5.1.3.4 Clarifier

Di dalam *Clarifier* terjadi proses flokulasi, yaitu penggabungan partikel-partikel kecil menjadi flok yang lebih besar dan berat. Flok yang terbentuk kemudian dapat dipisahkan melalui proses pengendapan (blowdown), sehingga menghasilkan air dengan tingkat kejernihan yang lebih baik.

5.1.3.5 Bak Penyaring (BU-03)

Air dari *Clarifier* selanjutnya dialirkan ke bak penyaring (BU-03) untuk menghilangkan sisa partikel yang masih terbawa. Setelah proses filtrasi ini, air ditampung dalam bak penampung sementara sebelum didistribusikan ke unit pengolahan lanjutan, seperti sanitasi dan demineralisasi.

5.1.3.6 Tangki Klorinasi

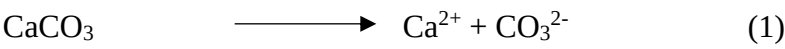
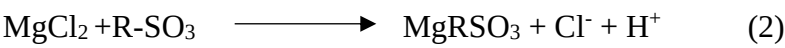
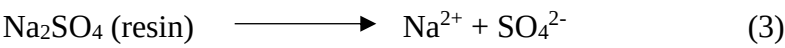
Pada tahap ini dilakukan proses klorinasi, khususnya untuk air yang akan digunakan untuk kebutuhan sanitasi. Klorin diinjeksikan ke dalam air untuk membunuh mikroorganisme seperti bakteri dan kuman. Selain itu, klorin juga berperan sebagai oksidator yang dapat menghilangkan bau dan rasa yang tidak diinginkan. Setelah proses ini, air sudah layak digunakan untuk kebutuhan umum seperti kantor, perumahan, dan fasilitas lainnya di pabrik.

5.1.3.7 Demineralisasi

Air yang akan digunakan untuk proses dan sistem pemanas (*Steam Heat Exchanger*) perlu melalui proses demineralisasi untuk menghilangkan kandungan mineral terlarut. Tahapan demineralisasi meliputi:

1. *Kation Exchanger*

Pada unit *Kation Exchanger*, ion-ion bermuatan positif yang terdapat dalam air seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan natrium (Na^+) ditukar dengan ion hidrogen (H^+) menggunakan resin penukar *Kation*. Proses ini menghasilkan air yang mengandung ion H^+ serta *Anion* yang masih tersisa. Reaksi yang terjadi antara lain:



Dalam jangka waktu tertentu, resin *Kation* akan mengalami kejenuhan sehingga perlu dilakukan regenerasi. Proses regenerasi dilakukan dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) untuk mengembalikan kemampuan tukar ion resin. Adapun reaksi regenerasi adalah sebagai berikut:



2. *Anion Exchanger*

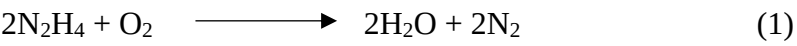
Unit *Anion Exchanger* berfungsi untuk menghilangkan ion-ion bermuatan negatif dalam air, seperti klorida (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}), dan ion negatif lainnya. Proses ini menggunakan resin yang bersifat basa sehingga mampu menukar ion negatif dengan ion hidroksida (OH^-). Adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



5.1.3.8 Deaerasi

Air hasil proses demineralisasi yang telah melalui unit *Kation Exchanger* dan *Anion Exchanger* kemudian dialirkan ke unit *Deaerator*. Proses deaerasi bertujuan untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O₂), yang dapat menyebabkan korosi pada peralatan proses.

Air dipompa ke dalam *Deaerator* dan ditambahkan bahan kimia berupa hidrazin (N₂H₄). Hidrazin berfungsi sebagai oksigen scavenger yang akan bereaksi dengan oksigen terlarut sehingga mencegah terjadinya korosi maupun pembentukan kerak pada peralatan. Adapun reaksi yang terjadi:



Air yang telah melalui proses deaerasi selanjutnya dialirkan menuju sistem pembangkit *steam* untuk digunakan sebagai media pemanas pada *Heat Exchanger*.

5.1.3.8 Cooling Tower

Cooling tower berfungsi untuk mendinginkan kembali air yang telah digunakan dalam proses. Air panas dari proses dialirkan ke bagian atas *Cooling tower* dan didistribusikan secara merata. Sebagian air akan menguap dengan menyerap panas laten, sehingga suhu air yang tersisa menurun. Air yang telah didinginkan kemudian dikumpulkan di bagian bawah dan digunakan kembali dalam sistem pendinginan.

5.1.4 Spesifikasi Alat Utilitas

a. Alat Pengolahan Air

1) *Screener*

Fungsi	: Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar, misalnya seperti daun, ranting, dan sampah-sampah lainnya.
--------	--

Jenis	: <i>Bar Screen</i>
Material	: Aluminium
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Ukuran lubang saringan	: 1 cm
Panjang saringan	: 10 ft
Lebar saringan	: 8 ft

2) Bak Pengendapan awal sedimentasi (BU-01)

Fungsi	: Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai
Jenis	: Bak berbentuk persegi
Material	: Beton bertulang
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 271,232 m ³
Panjang	: 8,156 m
Lebar	: 8,156 m
Tinggi	: 4,078 m

3) Bak Penggumpal (BU-02)

Fungsi	: Mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan
--------	--

	menambahkan koagulan untuk
	menggumpalkan kotoran menggunakan
	Tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, H_2O , dan
	Na_2CO_3 sebagai penggumpal
Jenis	: Bak Berbentuk persegi
Material	: Beton Bertulang
Jumlah	: 1
Spesifikasi Tangki	
Kapasitas	: 77,429 m ³
Diameter	: 4,620 m
Tinggi	: 4,620 m
Spesifikasi Pengaduk	
Jenis pengaduk	: <i>3-Blade Marine Propeller</i>
<i>Baffle</i>	: 4 buah
Diameter <i>Impeller</i>	: 1,540 m
Jarak tangki dengan <i>Impeller</i>	: 1,155 m
Jarak cairan dalam tangki	: 4,158 m
Lebar <i>Baffle</i>	: 0,154 m
Kecepatan Pengaduk	: 24 rpm
Diameter <i>blade</i>	: 1,540 m
Tebal <i>Baffle</i>	: 0,385 m

Jarak blade dengan tangki : 1,54 m

Tinggi *Blade* : 0,924 m

Lebar *blade* : 1,155 m

Power motor : 1 HP

4) Tangki Larutan Alum (TU-01)

Fungsi : Menyiapkan dan menyimpan larutan
alum 5% untuk waktu 2 minggu operasi

Jenis : Tangki berbentuk silinder

Material : *Fiber Reinforced Plastic*

Jumlah : 1

Spesifikasi

Kapasitas : 2,3239 m³

Diameter : 1,1396 m

Tinggi : 2,2793 m

5) Tangki Kapur Na₂CO₃ (TU-02)

Fungsi : Menyimpan larutan kapur 5% untuk
waktu 2 minggu operasi

Jenis : Tangki berbentuk silinder

Material : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Jumlah : 1

Spesifikasi

Kapasitas : 2,3239m³

Diameter : 1,1396 m

Tinggi : 2,2793 m

6) *Clarifier* (CLU-01)

Fungsi : Mengendapkan gumpalan-gumpalan
yang terbentuk dari bak penggumpal

Jenis : Bak silinder tegak dengan bentuk bawah
kerucut

Material : Beton bertulang

Jumlah : 1

Spesifikasi

Kapasitas : 77,430 m³

Diameter : 4,620 m

Tinggi silinder : 4,620 m

Tinggi kerucut : 1,07 m

Tinggi *Clarifier* : 5,687 m

7) Bak Penyaring (BU-03)

Fungsi : Menyaring partikel-partikel halus yang
ada dalam air sungai

Jenis : Bak berbentuk persegi

Material : Beton bertulang

Jumlah	: 1
Spesifikasi tangki	
Kapasitas	: 1,423 m ³
Panjang	: 1,417 m
Lebar	: 1,417 m
Tinggi	: 0,709 m
Spesifikasi isian	
Jenis material	: <i>Spheres</i>
Ukuran pasir	: 28 mesh
Diameter partikel	: 0,028 in
Porositas	: 0,3781 – 0,468
Tinggi lapisan pasir	: 0,431 m

8) Bak Penampung Sementara (BU-04)

Fungsi	: Menampung sementara <i>Raw Material</i> setelah disaring di bak penyaring
Jenis	: Bak persegi
Material	: Beton bertulang dilapisi porselin
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 69,687 m ³
Panjang	: 5,185 m

Lebar : 5,185 m

Tinggi : 2,592 m

b. Pengolahan Air Sanitasi

1) Tangki Klorinasi (TU-03)

Fungsi : Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk kebutuhan rumah tangga

Jenis : Tangki berbentuk silinder

Material : *Fiber Reinforced Plastic*

Jumlah : 1

Spesifikasi

Kapasitas : 1,1486 m³

Diameter : 0,4878 m

Tinggi : 0,58530 m

Kebutuhan kaporit : 0,007 kg/jam

2) Tangki Air Bersih (TU-04)

Fungsi : Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga

Jenis : Tangki berbentuk silinder tegak

Material : Beton bertulang

Jumlah : 1

Spesifikasi

Kapasitas : 55,135 m³

Diameter : 4,126 m

Tinggi : 4,9511 m

c. Pengolahan Air Stean

1) *Kation Exchanger* (KEU)

Fungsi : Menghilangkan kesadahan air yang disebabkan oleh *Kation* seperti Ca dan Mg

Jenis : Tangki berbentuk silinder

Material : *Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*

Jumlah : 1

Spesifikasi tangki

Tinggi : 2,1946 m

Diameter : 0,800 m

Tebal tangki : 0,188 in

Waktu operasi : 15 jam

Spesifikasi isian

Jenis : *Synthetic gel zeolite*

Kapasitas penyerapan : 12 kg/ft³

Kandungan grain hardness : 96 kg/jam

Tinggi *bed* : 1,829 m

Volume *bed* : 3,407 m³

2) *Anion Exchanger* (AEU)

Fungsi : Menghilangkan kesadahan air yang disebabkan oleh *Anion* Cl, SO₄, dan NO₃

Jenis : Tangki berbentuk silinder

Material : *Stainless Steel* SA-167 Grade 3 Type 304

Jumlah : 1

Spesifikasi tangki

Tinggi : 2,195 m

Diameter : 0,800 m

Tebal tangki : 0,188 in

Waktu Operasi : 31 jam

Spesifikasi isian

Jenis : Duolit A-2

Kapasitas Penyerapan : 25 kg/ft³

Kandungan grain hardness : 96 kg/jam

Tinggi *bed* : 1,829 m

Volume *bed* : 3,407 m³

3) Tangki H₂SO₄ (TU-05)

Fungsi	: Menampung atau menyimpan larutan H ₂ SO ₄ yang akan digunakan untuk meregenerasi <i>Kation Exchanger</i>
Jenis	: Tangki silinder
Material	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 58,468 m ³
Tinggi	: 5,049 m
Diameter	: 4,207 m

4) Tangki NaOH (TU-06)

Fungsi	: Menampung atau menyimpan larutan NaOH yang digunakan untuk meregenerasi <i>Anion Exchanger</i>
Jenis	: Tangki silinder
Material	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 39,622 m ³
Diameter	: 3,696 m
Tinggi	: 4,435 m

5) *Deaerator* (De)

Fungsi	: Menghilangkan gas CO ₂ dan O ₂ yang terikat dalam <i>feed water</i> yang menyebabkan kerak pada <i>reboiler</i> menggunakan N ₂ H ₄
Jenis	: Tangki silinder
Material	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 2,864 m ³
Diameter	: 1,539 m
Tinggi	: 1,847 m
Kebutuhan N ₂ H ₄	: 0,0368 kg/jam

6) Tangki N₂H₄ (TU-08)

Fungsi	: Menyimpan larutan N ₂ H ₄
Jenis	: Tangki silinder
Material	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 1,899 m ³
Tinggi	: 1,611 m

Diameter : 1,342 m

d. Pengolah air pendingin

1) *Cooling Tower* (CT-01)

Fungsi : Mendinginkan air pendingin setelah digunakan

Jenis : *Induced Draft Cooling tower*

Material : *Stainless Steel SA 283 Grade C*

Jumlah : 1

Spesifikasi *tower*

Luas Tower : 2,474 m²

Panjang : 4,060 m

Lebar : 4,060 m

Tinggi : 3,720 m

Spesifikasi Fan

Efisiensi : 95%

Power motor : 7,5 HP

Kebutuhan udara : 4,902 m³/jam

Kapasitas : 46,015 lb/jam

2) Bak Air Pendingin (BU-05)

Fungsi : Menampung air make up dan air pendingin yang sudah didinginkan

Jenis	: Bak persegi panjang
Material	: Beton bertulang
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 47,639 m ³
Panjang	: 4,567 m
Lebar	: 4,567 m
Tinggi	: 2,284 m

3) Tangki Umpan *Boiler* (TU-07)

Fungsi	: Mencampur kondensat sirkulasi dan makeup air umpan <i>boiler</i> sebelum dibangkitkan sebagai <i>steam</i> dalam <i>boiler</i>
Jenis	: Tangki silinder tegak
Material	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 0,716 m ³
Diameter	: 0,970 m
Tinggi	: 1,164 m

4) *Boiler* (Bo)

Fungsi	: Membuat <i>saturated steam</i>
--------	----------------------------------

Jenis	: <i>Water tube boiler</i>
Material	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Luas perpindahan panas	: 25,235 m ²
U _D	: 250 Btu/jam.ft ² .°F
ΔT _{LMTD}	: 299 °F
Efisiensi pembakaran	: 80%
Jenis bahan bakar	: <i>Fuel oil</i>
Kebutuhan bahan bakar	: 685,637 kg/jam
Diameter	: 3,343 m
Tinggi	: 6,688 m
Kapasitas	: 58,652 m ³

5) Bak Air Service (BU-06)

Fungsi	: Menampung air yang digunakan untuk bengkel, pemadam kebakaran
Jenis	: Bak persegi panjang
Material	: Beton bertulang
Jumlah	: 1
Spesifikasi	
Kapasitas	: 1,684 m ³

Panjang	: 1,499 m
Lebar	: 1,499 m
Tinggi	: 0,749 m

5.5.4.1 Alat Transportasi

Tabel 5. 4 Alat Transportasi Utilitas

Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05
Jenis	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>
	<i>Pump</i>	<i>Pump</i>	<i>Pump</i>	<i>Pump</i>	<i>Pump</i>
	<i>Single Stage</i>	<i>Single Stage</i>	<i>Single Stage</i>	<i>Single Stage</i>	<i>Single Stage</i>
Fungsi	Memompa	Memompa	Memompa	Memompa	Memompa
	air sungai	air dari bak	aliran Alum	aliran	air dari Bak
	dari	pengendapa	dari Tangki	Kapur	Penggumpa
	<i>Screening</i>	n awal (BU-	Alum (TU-	(Na2CO3)	l (BU-02)
	/Filter (FU-	01) menuju	01) menuju	dari Tangki	menuju
	01) menuju	Bak Penggu	Bak	Na2CO3	<i>Clarifier</i>
	Bak Pengan	mpal (BU-	Penggumpa	(TU-02)	(CU-01)
Impeller	<i>Axial Flow</i>	<i>Axial Flow</i>	<i>Radial Flow</i>	<i>Radial Flow</i>	<i>Axial Flow</i>
	<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i>
Diameter	6,625 in	6,625 in	0,405 in	0,405 in	6,625 in
luar					
Diameter	6,065 in	6,065 in	0,269 in	0,269 in	6,065 in
dalam					

Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05
NPS	6 in	6 in	0,125 in	0,125 in	6 in
Flow area	28,9 in ²	28,9 in ²	0,058 in ²	0,058 in ²	28,9 in ²
Kapasitas	52,898	52,898	0,000017	0,000011	52,898
	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam
Power motor	0,5 HP	0,5 HP	0,05 HP	0,05 HP	0,75 HP
Putaran	14175 rpm	14175 rpm	9 rpm	7 rpm	11363 rpm
Kecepatan	0,7881 m/s	0,7881 m/s	0,0001 m/s	0,0001 m/s	0,7881 m/s
Aliran					
Efisiensi	78%	78%	35%	35%	78%
Friction head	1,244 ft	1,425 ft	3,97x10 ⁻⁷ ft	1,62x10 ⁻⁷ ft	1,473 ft
Total Head	1,787 m	2,025 m	1,56 m	1,56 m	2,4 m

Tabel 5. 5 Alat Transportasi Utilitas (Lanjutan)

Alat	PU-06	PU-07	PU-08	PU-09	PU-10
Jenis	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump
	Single Stage	Single Stage	Single Stage	Single Stage	Single Stage
Fungsi	Memompa air dari Clarifier (CU-01) menuju Bak Penyaringa n (BU-03)	Memompa air dari Bak Penyaring (BU-03) menuju Bak Penampung	Memompa air BakPena mpungan Sementara (BU-04) menuju Tangki	Memompa air dari Tangki Klorinasi (TU-03) menuju Tangki	Memompa air dari Tangki Bersih (TU-04) menuju Kantor & Perumahan

Alat	PU-06	PU-07	PU-08	PU-09	PU-10
		Sementara (BU-04)	Klorinasi (TU-03), Bak Air Pendingin (BU-05), dan Kation Exchanger Unit (KEU)	Bersih (TU-04)	
Impeller	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Mixed Flow Impeller</i>	<i>Mixed Flow Impeller</i>
Diameter luar	6,625 in	6,625 in	6,625 in	1,66 in	1,66 in
Diameter dalam	6,065 in	6,065 in	6,065 in	1,38 in	1,38 in
NPS	6 in	6 in	6 in	1,25 in	1,25 in
Flow area	28,9 in ²	28,9 in ²	28,9 in ²	1,5 in ²	1,5 in ²
Kapasitas	47,608 m ³ /jam	47,608 m ³ /jam	47,608 m ³ /jam	2,308 m ³ /jam	2,308 m ³ /jam
Power motor	0,125 HP	0,25 HP	0,083 HP	0,083 HP	0,05 HP
Putaran	31553 rpm	17799 rpm	37099 rpm	2437 rpm	5944 rpm
Kecepatan Aliran	0,7133 m/s	0,7133 m/s	0,7093 m/s	0,6624 m/s	0,6624 m/s
Efisiensi	77%	77%	77%	44%	44%

Alat	PU-06	PU-07	PU-08	PU-09	PU-10
Friction head	1,012 ft	1,08 ft	0,846 ft	2,581 ft	1,242 ft
Total Head	0,573 m	1,23 m	0,463 m	2,32 m	0,7055 m

Tabel 5. 6 Alat Transportasi Utilitas (Lanjutan)

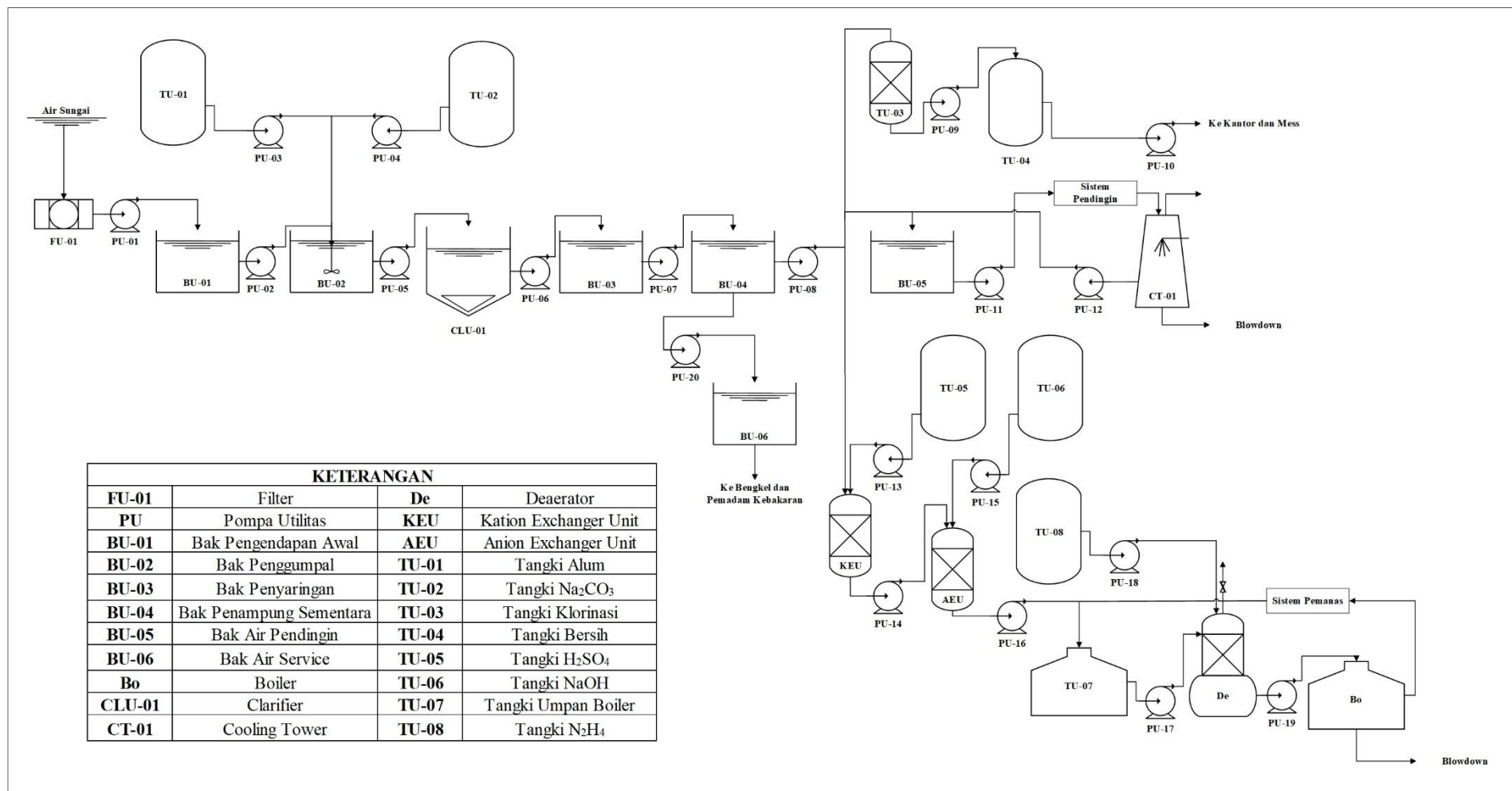
Alat	PU-11	PU-12	PU-13	PU-14	PU-15
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Fungsi	Memompa air untuk pendingin dari Bak Air Pendingin (BU-05) ke <i>Cooling Tower (CT-01)</i>	Memompa air keluar larutan H2SO4 dari Tangki H2SO4 (TU-05) ke Pendingin (BU-05)	Memompa larutan H2SO4 dari Tangki H2SO4 (TU-05) ke <i>Kation Exchanger Unit (KEU)</i>	Memompa air keluar larutan Kation <i>Exchanger Unit (KEU)</i> ke <i>Anion Exchanger Unit (AEU)</i>	Memompa larutan NaOH dari Tangki NaOH (TU-06) menuju <i>Anion Exchanger Unit (AEU)</i>
Impeller	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Radial Flow Impeller</i>	<i>Axial Flow Impeller</i>	<i>Radial Flow Impeller</i>
Diameter luar	6,625 in	6,625 in	0,405 in	6,625 in	0,405 in
Diameter dalam	6,065 in	6,065 in	0,269 in	6,065 in	0,269 in

Alat	PU-11	PU-12	PU-13	PU-14	PU-15
NPS	6 in	6 in	0,125 in	6 in	0,125 in
Flow area	28,9 in ²	28,9 in ²	0,058 in ²	28,9 in ²	0,058 in ²
Kapasitas	36,464	36,464	3,96x10 ⁻⁵	43,656	1,88x10 ⁻⁶
	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam
Power motor	0,333 HP	0,25 HP	0,05 HP	0,25 HP	0,05 HP
Putaran	14645 rpm	18486 rpm	26 rpm	21038 rpm	6 rpm
Kecepatan	0,5433 m/s	0,5433 m/s	0,0003 m/s	0,6504 m/s	0,000014
Aliran					m/s
Efisiensi	72%	72%	35%	64%	35%
Friction head	0,6145 ft	0,536 ft	4,53x10 ⁻⁶ ft	0,784 ft	9,96x10 ⁻⁸ ft
Total Head	1,335 m	0,979 m	0,67 m	0,93 m	0,67 m

Tabel 5. 7 Alat Transportasi Utilitas (Lanjutan)

Alat	PU-16	PU-17	PU-18	PU-19	PU-20
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>
Fungsi	Memompa air keluaran <i>Anion Exchanger Unit</i> (AEU)	Memompa air umpan <i>boiler</i> dari tangki (TU-07) menuju	Memompa N2H4 dari Tangki N2H4 (TU-08) menuju	Memompa air keluaran <i>Deaerator</i> (De) menuju ke <i>Boiler</i> (Bo)	Memompa air keluaran Bak penampungan sementara (BU-04) menuju Bak

Alat	PU-16	PU-17	PU-18	PU-19	PU-20
	menuju	<i>Deaerator</i>	<i>Deaerator</i>		air service
	Tangki	(De)	(De)		(BU-06)
	Umpan				
	<i>Boiler</i>				
	(TU-07)				
<i>Impeller</i>	<i>Axial Flow</i>	<i>Mixed</i>	Radial	<i>Mixed</i>	<i>Mixed Flow</i>
	<i>Impeller</i>	<i>Flow</i>	<i>Flow</i>	<i>Flow</i>	<i>Impeller</i>
		<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i>	
Diameter	6,625 in	1,32 in	0,405 in	2,38 in	1,32 in
luar					
Diameter	6,065 in	1,049 in	0,269 in	2,067 in	1,049 in
dalam					
NPS	6 in	1 in	0,125 in	2 in	1 in
<i>Flow area</i>	28,9 in ²	0,864 in ²	0,058 in ²	3,35 in ²	0,864 in ²
Kapasitas	43,656	1,438	8,64x10 ⁻⁴	5,993	0,846 m ³ /jam
	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam	m ³ /jam	
Power	0,167 HP	0,05 HP	0,05 HP	0,25 HP	0,05 HP
motor					
Putaran	28973 rpm	3476 rpm	136 rpm	3526 rpm	5777 rpm
Kecepatan	0,6504 m/s	0,7168 m/s	0,0064 m/s	0,7703 m/s	0,4214 m/s
Aliran					
Efisiensi	73%	44%	35%	48%	44%
<i>Friction</i>	0,76 ft	1,523 ft	0,00065 ft	1,997 ft	0,453 ft
<i>head</i>					
Total Head	0,61 m	1,053 m	0,5629 m	2,68 m	0,375 m



Gambar 5. 1 Diagram Unit Pengolahan Air

5.2 Unit Pembangkit Steam

Pada perancangan pabrik melamin diperlukan peralatan yang dapat mendukung kebutuhan steam selama proses produksi berlangsung. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, digunakan unit pembangkit steam berupa boiler atau ketel uap yang berfungsi menghasilkan steam sesuai kebutuhan operasional pabrik.

Spesifikasi boiler yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Tipe	: <i>Water tube boiler</i>
Jumlah	: 1 buah
Luas perpindahan panas	: 25,235 m ²
U _D	: 250 Btu/jam.ft ² .°F
ΔT _{LMTD}	: 299 °F
Efisiensi pembakaran	: 80%
Jenis bahan bakar	: <i>Fuel oil</i>
Kebutuhan bahan bakar	: 685,637 kg/jam
Diameter	: 3,343 m
Tinggi	: 6,688 m
Kapasitas	: 58,652 m ³

Digunakan *boiler* jenis *water tube boiler* karena memiliki kelebihan sebagai berikut:

- Mampu menghasilkan kapasitas *steam* yang cukup besar
- Mempunyai efisiensi pembakaran tinggi
- Tungku mudah dijangkau untuk pemeriksa
- Tekanan operasional tinggi

Boiler atau ketel uap dilengkapi dengan satu unit *economizer* dan *safety valve*. *Economizer* berfungsi sebagai alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas hasil pembakaran yang keluar dari *boiler*. Pada alat ini, temperatur air dinaikkan hingga mencapai 405°C sebelum diumpankan ke dalam *boiler*.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan listrik pada prarancangan pabrik melamin berbahan baku urea dengan kapasitas 70.000 ton per tahun dipenuhi melalui dua sumber, yaitu listrik dari PLN dan *generator*. *Generator* digunakan sebagai sumber daya cadangan apabila terjadi gangguan pada pasokan listrik dari PLN. Jenis *generator* yang digunakan dalam pabrik ini adalah generator tipe AC *Generator*.

Kebutuhan listrik pada pabrik adalah sebagai berikut:

- | | |
|---|-------------|
| 1. Listrik untuk kebutuhan proses produksi | : 99,185 kW |
| 2. Listrik untuk kebutuhan utilitas pabrik | : 10,769 kW |
| 3. Listrik untuk kebutuhan penerangan dan AC pabrik | : 170 kW |
| 4. Listrik untuk kebutuhan laboratorium dan bengkel | : 50 kW |
| 5. Listrik untuk kebutuhan instrumentasi pabrik | : 20 kW |

Generator yang digunakan sebagai cadangan sumber listrik mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe : AC *Generator*
- Kapasitas : 600 kW
- Efisiensi : 80%
- Bahan bakar : Solar
- *Heating Value* : 59,195 kg/jam

Dengan spesifikasi ini maka *generator* dapat beroperasi jika PLN mengalami gangguan.

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Unit penyedia udara bertekanan berfungsi untuk menyediakan udara tekan yang digunakan pada peralatan kontrol dengan sistem pneumatik. Tekanan udara yang digunakan umumnya berada pada rentang 5,5–7,2 bar, sedangkan pada perancangan ini digunakan tekanan sebesar 6 bar. Oleh karena itu, diperlukan kompresor yang mampu menghasilkan udara bertekanan sesuai kebutuhan operasional sistem.

Kapasitas	: 22,427 m ³ /jam
Tekanan <i>suction</i>	: 14,7 psi
Tekanan <i>discharge</i>	: 87,047 psi
Jenis	: <i>Single Stage Reciprocating Compressor</i>
Efisiensi	: 85%
Daya kompresor	: 2 HP
Jumlah	: 1 buah

Kompresor ini berfungsi untuk mengkompresi udara menjadi udara bertekanan dan nantinya udara kering akan ditampung di tangka silica gel.

5.5 Unit Penyedia *Molten salt*

Unit penyedia *molten salt* bertujuan untuk memenuhi kebutuhan *molten salt* yang digunakan untuk memanaskan reaktor sampai mencapai suhu operasi. Garam yang digunakan terdiri dari KNO₃ dan NaNO₂. Dari neraca panas didapat kebutuhan molten salt sebanyak 458.665,11 kg/jam. *Molten salt* diolah diunit utilitas menggunakan *Molten salt* Furnace dengan spesifikasi sebagai berikut:

Suhu masuk	: 395 °C
------------	----------

Suhu keluar	: 405 °C
Panjang	: 6,096 m
Lebar	: 4,2672 m
Tinggi	: 1,0668 m
Kapasitas	: 27,75 m ³
Bahan bakar	: <i>Fuel oil</i>
Kebutuhan bahan bakar	: 197,771 kg/jam
Efisiensi pembakaran	: 80%

Molten salt kemudian dialirkan ke *tube* di dalam reaktor untuk menjaga suhu reaktor. *Molten salt* dari reaktor akan dikembalikan ke unit pengolahan *molten salt* untuk diolah kembali.

5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar berfungsi sebagai penyedia bahan bakar yang digunakan untuk menjalankan boiler dan generator di pabrik. Jenis bahan bakar yang digunakan pada boiler adalah fuel oil, sedangkan generator menggunakan solar. Kebutuhan fuel oil untuk mengoperasikan boiler serta proses pembakaran pada furnace mencapai 883,41 kg/jam, sementara kebutuhan solar untuk menjalankan generator sebesar 59,195 kg/jam.

5.7 Unit Penyedia Downtherm

Unit penyedia Dowtherm berfungsi untuk menyediakan media perpindahan panas berupa downtherm yang digunakan sebagai fluida pendingin pada desublimasi di pabrik. Kebutuhan downtherm pada sistem ini sebesar 40.436,225 kg/jam. Dowtherm dapat digunakan dalam jangka waktu yang sangat lama karena bersifat sirkulatif dan stabil pada temperatur operasi tinggi, sehingga tidak perlu diganti secara keseluruhan.

Namun, untuk mengantisipasi kehilangan fluida akibat kebocoran kecil, penguapan, maupun maintenance, dilakukan make-up downtherm sebesar 10% dari volume koil setiap tahunnya. Berdasarkan perhitungan, kebutuhan make-up downtherm yang diperlukan adalah sebesar 633,27 kg/tahun. Dalam operasinya, downtherm masuk ke desublimer pada suhu ruang yaitu sekitar 30 °C, kemudian menyerap panas dari gas proses sehingga suhu downtherm meningkat dan keluar dari desublimer pada suhu sekitar 155 °C. Setelah keluar dari desublimer, downtherm dialirkan menuju cooler untuk didinginkan kembali hingga mendekati suhu awal sebelum disirkulasikan kembali ke sistem pendinginan.

5.8 Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang dihasilkan oleh pabrik melamin diklasifikasikan menjadi limbah cair dan limbah padat.

A. Limbah Cair

a. Limbah Sanitasi

Limbah sanitasi merupakan air buangan yang berasal dari penggunaan untuk keperluan kantor dan fasilitas pabrik lainnya, seperti pencucian, memasak, dan kegiatan sejenis. Penanganan limbah ini tidak memerlukan perlakuan khusus karena sifatnya serupa dengan limbah rumah tangga pada umumnya dan tidak mengandung bahan kimia berbahaya. Hal yang perlu diperhatikan adalah volume limbah yang diperbolehkan serta lokasi pembuangan air limbah tersebut.

b. Air Berminyak

Air berminyak berasal dari buangan pelumas pada pompa, kompresor, dan peralatan lainnya. Pemisahan dilakukan berdasarkan perbedaan berat jenis. Minyak yang berada di bagian atas dialirkan ke tungku pembakaran, sedangkan air pada bagian bawah dialirkan menuju penampungan akhir sebelum dibuang.

c. Air Sisa Regenerasi

Air sisa regenerasi dari unit demineralisasi mengandung H_2SO_4 yang kemudian dinetralkan di dalam kolam netralisasi hingga mencapai pH sekitar 6,5–7, serta mengandung O_2 minimum sebesar 3 ppm.

d. Air Limbah Laboratorium dan Limbah Cair dari Proses

Secara umum air limbah yang berasal dari setiap kegiatan di pabrik melamin ini harus diolah agar dapat dibuang ke lingkungan dengan kisaran parameter air yang sesuai dengan peraturan pemerintah, yaitu:

- COD : maks. 100 mg/l
- BOD : maks. 20 mg/l
- TSS : maks. 80 mg/l
- Oil : maks. 5 mg/l
- pH : 6,5 – 8,5

B. Limbah Padat

Limbah berupa lumpur atau pasir yang dihasilkan dari unit pengolahan air dimanfaatkan sebagai bahan penimbun setelah terlebih dahulu diturunkan kadar airnya. Sementara itu, limbah padat yang berasal dari toilet diolah di dalam septic tank dan selanjutnya dikirim ke perusahaan pengelola limbah lanjutan.

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi dalam perancangan pabrik merupakan aspek penting yang harus diperhatikan dalam proses pendirian suatu industri. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan kelayakan pabrik yang akan dibangun. Salah satu faktor utama yang menjadi perhatian adalah estimasi harga peralatan yang digunakan, karena nilai tersebut menjadi dasar dalam analisis investasi, perhitungan keuntungan yang mungkin diperoleh, estimasi waktu pengembalian modal, serta penentuan titik impas atau *Break Even Point* (BEP). Beberapa hal yang perlu dikaji dalam evaluasi ekonomi meliputi:

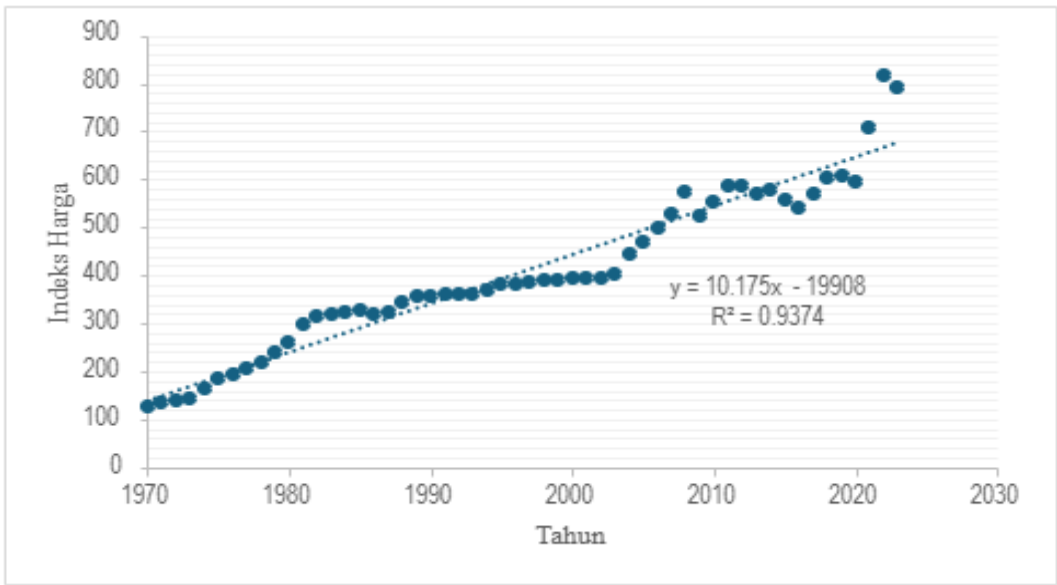
1. Penentuan Modal Industri (*Total Capital Investment*), yang terdiri dari:
 - a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)
 - b. Modal Kerja (*Working Capital*)
2. Penentuan Biaya Produksi Total (*Total Production Cost*), yang mencakup:
 1. Biaya Pengeluaran (*Manufacturing Cost*), terdiri dari:
 2. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 3. Biaya Produksi Tidak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 4. Biaya Produksi Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
 5. Biaya Pengeluaran Umum (*General Expense*)
3. Pendapatan Modal, untuk menentukan titik impas perlu dilakukan estimasi terhadap:
 - a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)
 - b. Biaya Variabel (*Variable Cost*)
 - c. Biaya Mengambang (*Regulated Cost*)
4. Analisa Kelayakan Ekonomi, yang meliputi:
 - a. *Return On Investment* (ROI)
 - b. *Pay Out Time* (POT)

- c. *Break Even Point* (BEP)
- d. *Shut Down Point* (SDP)
- e. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFR)

6.1 *Index Harga Alat*

Harga peralatan cenderung berubah mengikuti kondisi ekonomi dari waktu ke waktu. Untuk mengetahui harga peralatan pada tahun tertentu, dapat dilakukan estimasi berdasarkan harga pada tahun sebelumnya dengan menggunakan indeks harga.

Indeks harga pada tahun 2031 dapat diperkirakan melalui pendekatan garis linear berdasarkan data indeks dari tahun 1970 hingga 2026, persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = 10,175x - 19908$. Pabrik melamin berbahan baku urea dengan kapasitas produksi sebesar 70.000 ton per tahun direncanakan mulai dibangun pada tahun 2030 dan mulai beroperasi pada tahun 2031. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan regresi linear, diperoleh nilai indeks sebesar 747,25 untuk tahun 2030. Adapun grafik plotting data tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. 1 Grafik *Index Harga*

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

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

Keterangan:

Ex : Harga alat pada tahun pembelian

Ey : Harga alat pada tahun referensi

Nx : Indeks harga pada tahun pembelian

Ny : Indeks harga pada tahun referensi

6.2 Dasar Perhitungan

Dasar perhitungan yang digunakan dalam analisis ekonomi pabrik melamin ini adalah;

1. Kapasitas produksi : 70.000 ton/tahun
2. Satu tahun operasi : 330 hari
3. Pabrik didirikan tahun : 2030
4. Pabrik beroperasi tahun : 2031
5. Nilai kurs mata uang : \$1 = Rp 17.176
6. Umur alat : 10 tahun

6.3 Perhitungan Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Investment*)

Capital Investment atau yang dikenal sebagai modal investasi merupakan sejumlah dana yang harus dipersiapkan sebelum pendirian dan operasional suatu pabrik dimulai. *Capital Investment* terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment adalah biaya atau modal tetap yang dikeluarkan untuk penyediaan fasilitas pabrik serta peralatan operasional lainnya. Berdasarkan hasil

perhitungan perancangan, pabrik melamin ini memerlukan estimasi *Physical Plant Cost*, *Direct Plant Cost*, dan *Fixed Capital Investment* sebagaimana disajikan pada tabel-tabel berikut:

Tabel 6. 1 *Physical Plant Cost (PPC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Purchased Equipment Cost</i>	\$3,804,052.46	Rp65,338,405,113.90
2	<i>Delivery Equipment Cost</i>	\$951,013.12	Rp16,334,601,278.48
3	<i>Installation Works</i>	\$1,921,035.27	Rp32,995,701,843.86
4	<i>Piping System</i>	\$3,601,354.82	Rp61,856,870,362.35
5	<i>Instrumentation System</i>	\$1,194,708.12	Rp20,520,306,717.59
6	<i>Thermal Insulation</i>	\$348,901.18	Rp5,992,726,728.63
7	<i>Electrical System</i>	\$570,607.87	Rp9,800,760,767.09
8	<i>Buildings & Civil Works</i>	\$2,109,775.27	Rp36,237,500,000.00
9	<i>Land & Yard Improvement</i>	\$1,764,089.43	Rp30,300,000,000.00
Total		\$16,265,537.54	Rp279,376,872,811.89

Tabel 6. 2 *Direct Plant Cost (DPC)*

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>	\$16,265,537.54	Rp279,376,872,811.89
2	<i>Engineering & Construction</i>	\$3,253,107.00	Rp55,875,374,562.38
Total		\$19,518,645.05	Rp335,252,247,374.26

Tabel 6. 3 *Fixed Capital Investment (FCI)*

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Direct Plant Cost</i>	\$19,518,645.05	Rp335,252,247,374.26
2	<i>Contractor's Fee</i>	\$780,745.80	Rp13,410,089,894.97
3	<i>Contingency</i>	\$1,951,864.50	Rp33,525,224,737.43
Total		\$22,251,255.36	Rp382,187,562,006.66

b. *Working Capital Investment*

Working Capital Investment merupakan modal yang dibutuhkan untuk menjalankan operasional pabrik dalam jangka waktu tertentu sejak pabrik mulai beroperasi. Sumber modal dalam pendirian pabrik dapat berasal dari berbagai pihak, seperti pinjaman bank, dana pribadi, maupun investasi dari pihak lain. Tujuan utama

dari penanaman modal adalah memperoleh keuntungan dari dana yang telah diinvestasikan. Beberapa karakteristik investasi yang baik antara lain:

- a. Mampu menghasilkan laba yang maksimal
- b. Memiliki waktu pengembalian investasi yang relatif cepat
- c. Memenuhi aspek hukum yang berlaku serta didukung oleh teknologi yang memadai, dan faktor pendukung lainnya

Tabel 6. 4 Working Capital Investment (WCI)

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Raw Material Inventory	\$3,743,882.51	Rp64,304,926,006.85
2	Inproses Inventory	\$2,531,380.83	Rp43,478,997,174.14
3	Product Inventory	\$5,062,761.66	Rp86,957,994,348.28
4	Extended Credit	\$6,598,901.22	Rp113,342,727,272.73
5	Available Cash	\$5,062,761.66	Rp86,957,994,348.28
Total		\$22,999,687.89	Rp395,042,639,150.28

6.3.2 Biaya Produksi (Manufacturing Cost)

Manufacturing Cost merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk melaksanakan proses produksi suatu produk di dalam pabrik. Biaya ini mencakup *direct cost*, *indirect cost*, dan *fixed cost* yang seluruhnya berkaitan dengan kegiatan produksi. Secara umum, *Manufacturing Cost* terdiri dari:

- a. *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Direct Manufacturing Cost atau biaya langsung adalah pengeluaran yang berhubungan secara langsung dengan proses pembuatan produk, yaitu biaya yang terkait langsung dengan aktivitas produksi di dalam pabrik.

Tabel 6. 5 Direct Manufacturing Cost

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Raw Material	\$41,182,707.62	Rp707,354,186,075.38
2	Labor	\$147,869.12	Rp2,539,800,000.00
3	Supervision	\$14,786.91	Rp253,980,000.00
4	Maintenance	\$445,025.11	Rp7,643,751,240.13
5	Plant Supplies	\$66,753.77	Rp1,146,562,686.02
6	Royalty & Patents	\$725,879.13	Rp12,467,700,000.00

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
7	Utilities	\$6,919,421.05	Rp118,847,976,008.80
Total		\$49,502,442.71	Rp850,253,956,010.34

b. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Indirect Manufacturing Cost atau biaya tidak langsung merupakan biaya yang tidak berhubungan secara langsung dengan unit produksi, namun tetap diperlukan untuk menunjang kelancaran proses produksi di dalam pabrik.

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

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Payroll Overhead	\$22,180.37	Rp380,970,000.00
2	Laboratory	\$14,786.91	Rp253,980,000.00
3	Plant Overhead	\$73,934.56	Rp1,269,900,000.00
4	Packaging & Shipping	\$3,629,395.67	Rp62,338,500,000.00
Total		\$3,740,297.51	Rp64,243,350,000.00

c. *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Fixed Manufacturing Cost atau biaya tetap merupakan biaya yang tetap harus dikeluarkan oleh pabrik, baik saat beroperasi maupun tidak. Biaya ini bersifat konstan dan tidak dipengaruhi oleh waktu maupun tingkat produksi.

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

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Depreciation	\$1,780,100.43	Rp30,575,004,960.53
2	Property Taxes	\$445,025.11	Rp7,643,751,240.13
3	Insurance	\$222,512.55	Rp3,821,875,620.07
Total		\$2,447,638.09	Rp42,040,631,820.73

Tabel 6. 8 *Total Manufacturing Cost*

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
<i>Direct Manufacturing</i>			
1	Cost (DMC)	\$49,502,442.71	Rp850,253,956,010.34
<i>Indirect Manufacturing</i>			
2	Cost (IMC)	\$3,740,297.51	Rp64,243,350,000.00

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
3	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	\$2,447,638.09	Rp42,040,631,820.73
	Total	\$55,690,378.31	Rp956,537,937,831.07

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General Expenses atau pengeluaran umum adalah biaya-biaya yang berkaitan dengan fungsi perusahaan di luar *Manufacturing Cost*. Pengeluaran ini diperlukan untuk mendukung kelancaran operasional perusahaan secara keseluruhan.

Tabel 6. 9 *General Expenses*

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Administration</i>	\$2,177,637.40	Rp37,403,100,000.00
2	<i>Sales Expense</i>	\$2,177,637.40	Rp37,403,100,000.00
3	<i>Research</i>	\$2,903,516.53	Rp49,870,800,000.00
4	<i>Finance</i>	\$905,018.86	Rp15,544,604,023.14
	Total	\$8,163,810.20	Rp140,221,604,023.14

Tabel 6. 10 *Total Production Cost*

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	\$55,690,378.31	Rp956,537,937,831.07
2	<i>General Expenses (GE)</i>	\$22,072.30	Rp140,221,604,023.14
	Total	\$55,712,450.61	Rp1,096,759,541,854.21

6.4 Analisis Risiko Pabrik

Analisis risiko merupakan salah satu komponen penting dalam menilai kelayakan dan keberlangsungan operasional suatu pabrik. Risiko yang dihadapi tidak hanya berkaitan dengan keselamatan kerja, tetapi juga mencakup potensi kerugian ekonomi, gangguan pada proses produksi, serta dampak terhadap lingkungan. Oleh sebab itu, evaluasi risiko perlu dilakukan secara menyeluruh untuk mengidentifikasi berbagai potensi bahaya sekaligus menentukan langkah pengendalian dan tingkat kewaspadaan yang diperlukan. Adapun beberapa faktor utama yang menjadi pertimbangan dalam analisis risiko meliputi:

1. Kondisi Operasi

Faktor ini mencakup tingkat kompleksitas proses produksi, penggunaan sistem kontrol otomatis, serta kestabilan aliran proses secara keseluruhan. Proses dengan banyak unit operasi atau kondisi yang dinamis cenderung lebih rentan terhadap gangguan apabila tidak didukung oleh sistem kendali yang memadai.

2. Jenis Bahan Baku dan Produk

Karakteristik bahan baku dan produk, seperti mudah terbakar, beracun, atau reaktif, dapat meningkatkan tingkat risiko pabrik. Oleh sebab itu, identifikasi sifat bahan sangat penting untuk menentukan kebutuhan sistem proteksi dan metode penanganan yang tepat.

3. Tekanan dan Suhu Operasi

Operasi pada tekanan dan suhu tinggi memiliki potensi risiko seperti kebocoran, ledakan, atau kegagalan peralatan. Evaluasi dilakukan untuk menilai tingkat kondisi ekstrem yang digunakan serta langkah mitigasi yang diterapkan.

4. Regulasi Pemerintah

Tingkat risiko juga dipengaruhi oleh kepatuhan terhadap regulasi keselamatan dan lingkungan yang ditetapkan pemerintah. Semakin ketat regulasi yang berlaku, maka semakin besar konsekuensi yang harus ditanggung apabila terjadi pelanggaran.

5. Keberadaan dan Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik menentukan besarnya dampak risiko terhadap lingkungan sekitar. Pabrik yang berlokasi dekat dengan pemukiman padat atau kawasan sensitif memerlukan perhatian lebih terkait potensi dampak eksternal yang ditimbulkan.

6. Asal Bahan Baku

Ketersediaan dan kontinuitas pasokan bahan baku turut memengaruhi risiko operasional. Ketergantungan pada bahan baku impor atau sumber yang tidak stabil dapat menyebabkan gangguan pada rantai pasok serta meningkatkan risiko finansial.

Setiap faktor tersebut kemudian dinilai berdasarkan tingkat bahaya dan potensi dampaknya, lalu diklasifikasikan ke dalam kategori risiko rendah (*low risk*) atau tinggi (*high risk*). Hasil dari analisis ini selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan dapat dilihat pada tabel 6.12.

Tabel 6. 11 Hasil Analisis Resiko

No.	Parameter	Deskripsi	Risk	
	Risiko		Low	High
Kondisi Operasi				
1	Suhu	Suhu operasi sangat tinggi mencapai $\pm 395^{\circ}\text{C}$ yang berpotensi menyebabkan degradasi material, <i>fouling</i> , serta <i>overheating</i> apabila sistem kontrol atau pendingin gagal.		✓
2	Tekanan	Tekanan operasi sekitar 3 atm tergolong sedang dan relatif aman, namun tetap berpotensi menyebabkan kebocoran pada peralatan bertekanan.	✓	
Bahan Baku				
3	Urea	Tidak mudah terbakar dan relatif stabil, namun pada suhu tinggi dapat terdekomposisi menghasilkan amonia (NH_3) dan CO_2 yang dapat meningkatkan tekanan sistem.	✓	
4	Amonia (NH_3)	Bersifat toksik, korosif, dan mudah menguap. Kebocoran dapat menyebabkan gangguan pernapasan serta berpotensi bahaya kebakaran pada konsentrasi tertentu.		✓
5	Karbon Dioksida (CO_2)	Tidak mudah terbakar dan relatif tidak beracun, namun dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan asfiksia.	✓	

No.	Parameter	Deskripsi	Risk	
	Risiko		Low	High
Produk				
6	Melamin	Bersifat stabil, namun dalam bentuk debu dapat menyebabkan iritasi pernapasan dan berpotensi menimbulkan bahaya debu.	✓	
Logistik dan Transportasi				
7	Urea dan Melamin	Transportasi urea dan melamin relatif aman karena keduanya stabil dan tidak mudah terbakar, sehingga risiko distribusi tergolong rendah.	✓	
Regulasi Pemerintah				
8	Lingkungan dan K3	Berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 (Lampiran XLVII), baku mutu efluen meliputi suhu $\leq 40^{\circ}\text{C}$, TDS $\leq 2.000\text{ mg/L}$, TSS $\leq 50\text{ mg/L}$, dan pH 6–9. Risiko pelanggaran dapat terjadi jika unit pengolahan limbah tidak beroperasi optimal.		✓
9		PP No. 22 Tahun 2021 mewajibkan AMDAL serta pengelolaan limbah B3 sehingga meningkatkan tuntutan pengendalian risiko lingkungan.		✓
10		Permenakertrans No. 13 Tahun 2011 menetapkan Nilai Ambang Batas (NAB) paparan bahan kimia di tempat kerja sehingga memerlukan pengendalian paparan yang ketat		✓
Keberadaan Pabrik				
11	Keberadaan Pabrik	Teknologi proses BASF telah berkembang dan digunakan secara global, namun implementasi di Indonesia masih terbatas.	✓	
TOTAL			6	5

Dengan hasil penilaian tersebut, secara keseluruhan pabrik ini dikategorikan sebagai low risk. Hal ini menunjukkan bahwa operasional pabrik memiliki tingkat risiko yang relatif rendah dan masih dapat dikendalikan dengan baik melalui penerapan

sistem pengendalian serta prosedur keselamatan yang sesuai. Meskipun demikian, beberapa aspek seperti suhu operasi yang tinggi dan keberadaan bahan berbahaya seperti amonia tetap memerlukan perhatian khusus dalam pengoperasian pabrik. Oleh karena itu, sistem kontrol proses, keselamatan kerja, serta pengelolaan risiko harus tetap diterapkan secara optimal untuk menjaga kestabilan operasional.

Sejalan dengan hasil penilaian tersebut, pendekatan risiko tetap dipertimbangkan dalam analisis kelayakan ekonomi pabrik. Hal ini penting karena meskipun tingkat risiko relatif rendah, faktor-faktor risiko tertentu tetap dapat mempengaruhi parameter finansial, sehingga diperlukan perencanaan yang matang agar investasi tetap layak secara ekonomi.

6.5 Analisa Keuntungan

1. Keuntungan Sebelum Pajak

Total penjualan : Rp 1.246.770.000.000,00

Total biaya produksi : Rp 1,096,759,541,854.21

Keuntungan : Total Penjualan – Total Biaya Produksi

: Rp 150,010,458,145.79

2. Keuntungan Sesudah Pajak

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan, yang merupakan perubahan atas Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2008 tentang Pajak Penghasilan, tarif Pajak Penghasilan (PPh) Badan ditetapkan sebesar 22% dan berlaku mulai tahun pajak 2022.

Pajak (22%) : Rp 33,002,300,792.07

Keuntungan : Keuntungan Sebelum Pajak – Pajak

: Rp 117,008,157,353.72

6.6 Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan bertujuan untuk mengetahui besarnya keuntungan yang diperoleh sehingga dapat menilai apakah pabrik tergolong potensial atau tidak dari segi ekonomi. Selain itu, analisa ini juga digunakan untuk mengevaluasi apakah investasi yang dilakukan mampu memberikan keuntungan yang optimal. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisa kelayakan antara lain:

1. *Return On Investment* (ROI)

Return on investment (ROI) merupakan rasio yang menunjukkan tingkat keuntungan yang diperoleh dari total investasi yang telah dikeluarkan. Nilai ROI menggambarkan seberapa efektif investasi dalam menghasilkan laba, baik berupa keuntungan maupun kerugian.

$$\%ROI = \frac{Profit}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\% \tag{6.1}$$

a. ROI Sebelum Pajak (ROI b)

Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah minimum adalah 11%. (Aries & Newton, 1955)

$$\begin{aligned} \%ROI &= \frac{Keuntungan\ Sebelum\ Pajak}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\% \\ &= 39\% \end{aligned}$$

b. ROI Setelah Pajak (ROI a)

$$\begin{aligned} \%ROI &= \frac{Keuntungan\ Setelah\ Pajak}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\% \\ &= 31\% \end{aligned}$$

2. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi berdasarkan keuntungan yang diperoleh setiap tahun. Perhitungan ini

digunakan untuk mengetahui dalam berapa tahun investasi dapat kembali. Untuk pabrik kimia dengan risiko rendah, nilai POT sebelum pajak umumnya disyaratkan maksimum 5 tahun.

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Keuntungan\ Sebelum\ Pajak + 0,1 \times Fixed\ Capital)} \times 100\% \quad (6.2)$$

a. POT Sebelum Pajak (ROI b)

Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah minimum adalah 11%. (Aries, 1955)

$$\begin{aligned}
 POT &= \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Keuntungan\ Sebelum\ Pajak + 0,1 \times Fixed\ Capital)} \\
 &= 2\ \text{Tahun}
 \end{aligned}$$

b. POT Setelah Pajak (ROI a)

$$\begin{aligned}
 POT &= \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Keuntungan\ Setelah\ Pajak + 0,1 \times Fixed\ Capital)} \\
 &= 2,5\ \text{Tahun}
 \end{aligned}$$

3. Break Even Point (BEP)

Break Even Point (BEP) adalah kondisi ketika total pendapatan yang diperoleh sama dengan total biaya produksi yang dikeluarkan. Pada titik ini, perusahaan berada dalam keadaan impas karena tidak memperoleh laba maupun mengalami kerugian. Apabila tingkat operasi berada di bawah nilai BEP, maka pabrik akan mengalami kerugian, sedangkan jika berada di atas BEP, perusahaan akan mendapatkan keuntungan. Secara umum, nilai BEP pada industri kimia berkisar antara 40% hingga 60%.

$$BEP = \frac{Fa + 0,3Ra}{Sa - Va - (0,7Ra)} \times 100\% \quad (6.3)$$

Dimana:

Fa : Annual Fixed Manufacturing Cost

Ra : Annual Regulated Expenses

Va : Annual Variable Value

Sa : Annual Sales Value

Tabel 6. 12 Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Depreciation	\$1,780,100.43	Rp30,575,004,960.53
2	Property Taxes	\$445,025.11	Rp7,643,751,240.13
2	Insurance	\$222,512.55	Rp3,821,875,620.07
Total		\$2,447,638.09	Rp42,040,631,820.73

Tabel 6. 13 Annual Regulated Expenses (Ra)

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Employee Salary	\$985,794.13	Rp16,932,000,000.00
2	Payroll Overhead	\$22,180.37	Rp380,970,000.00
3	Supervision	\$14,786.91	Rp253,980,000.00
4	Plant Overhead	\$73,934.56	Rp1,269,900,000.00
5	Laboratory	\$14,786.91	Rp253,980,000.00
6	General Expense	\$8,163,810.20	Rp140,221,604,023.14
7	Maintenance	\$445,025.11	Rp7,643,751,240.13
8	Plant Supplies	\$66,753.77	Rp1,146,562,686.02
Total		\$9,787,071.96	Rp168,102,747,949.29

Tabel 6. 14 Annual Variable Value (Va)

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Raw Material	\$41,182,707.62	Rp707,354,186,075.38
2	Packaging	\$2,903,516.53	Rp49,870,800,000.00
3	Shipping	\$725,879.13	Rp12,467,700,000.00
4	Utilities	\$6,919,421.05	Rp118,847,976,008.80
5	Royalty & Patents	\$725,879.13	Rp12,467,700,000.00
Total		\$52,457,403.47	Rp901,008,362,084.18

Tabel 6. 15 Annual Sales (Sa)

No	Jenis Biaya	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Annual Sales Value	\$72,587,913.37	Rp1,246,770,000,000.00
Total		\$72,587,913.37	Rp1,246,770,000,000.00

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

$$\begin{aligned}
 BEP &= \frac{Fa + 0,3Ra}{Sa - Va - (0,7Ra)} \times 100\% \\
 &= 41\%
 \end{aligned}$$

4. Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point (SDP) merupakan suatu kondisi ketika aktivitas produksi di dalam pabrik harus dihentikan. Keadaan ini dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti tingginya biaya variabel maupun kesalahan dalam pengambilan keputusan yang menyebabkan biaya operasional menjadi tidak ekonomis, sehingga perusahaan tidak dapat memperoleh keuntungan sesuai harapan. Selain itu, SDP juga didefinisikan sebagai batas minimum kapasitas produksi yang wajib dicapai dalam periode tertentu, biasanya dalam satu tahun. Jika kapasitas minimum tersebut tidak terpenuhi, maka operasional pabrik yang sedang berjalan harus dihentikan sementara ataupun ditutup secara permanen.

$$SDP = \frac{0,3Ra}{Sa - Va - (0,7Ra)} \times 100\% \tag{6.4}$$

Dimana:

Ra : *Annual Regulated Expenses*

Va : *Annual Variable Value*

Sa : *Annual Sales Value*

Didapatkan nilai perhitungan SDP sebagai berikut:

$$SDP = 22\%$$

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

Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR) merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan investasi dengan mempertimbangkan nilai waktu dari uang (*time value of money*). Metode ini menghitung tingkat pengembalian investasi berdasarkan arus kas di masa depan yang telah didiskontokan ke nilai saat ini. Dengan demikian, investor dapat mengetahui potensi pertumbuhan investasi dalam jangka waktu tertentu, baik dalam bentuk persentase maupun kelipatan nilai investasi awal. Persamaan untuk menghitung DCFR adalah sebagai berikut:

$$\frac{(WC + FCI) \times (1 + i)^n}{CF} = [(1 + i)^{(n-1)} + (1 + i)^{(n-2)} + \dots + (1 + i) + 1] \frac{(WC + SV)}{CF}$$

Dimana:

FCI : *Fixed Capital Investment*

WC : *Working Capital Investment*

SV : *Salvage Value* (Depresiasi)

n : Umur Pabrik

i : Nilai DCFR

Sebagai perhitungan digunakan data sebagai berikut:

FCI = Rp 379,249,583,511.37

WCI = Rp 395,021,710,482.13

SV = Rp 30,339,966,680.91

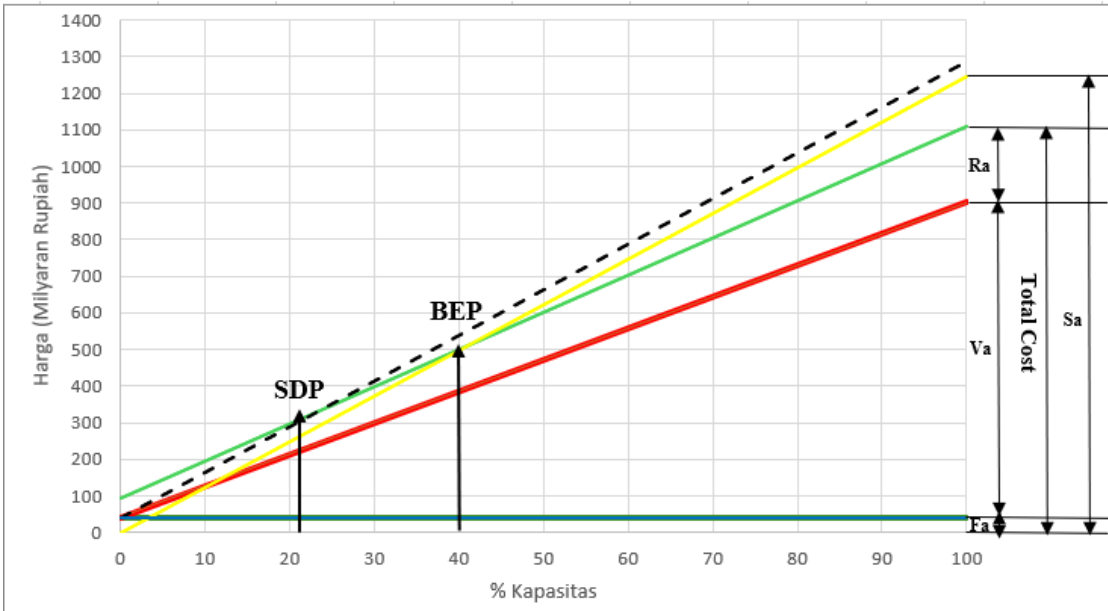
n = 10 tahun

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

DCFR = 19,2%

Tabel 6. 16 Hasil Kelayakan Ekonomi

Kriteria	Terhitung	Persyaratan	Kesimpulan
ROI	39%	Minimal 11%	Memenuhi (Layak)
POT	2 tahun	Maksimal 5 tahun	Memenuhi (Layak)
BEP	41%	Kisaran 40 - 60%	Memenuhi (Layak)
SDP	22%	Tidak ada syarat	Memenuhi (Layak)
DCFR	19,2%	Minimal = 7,13% (1,5 bunga bank)	Memenuhi (Layak)



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan pabrik melamin berbahan baku urea dengan kapasitas produksi sebesar 70.000 ton per tahun, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahan baku utama berupa urea dipasok oleh PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur.
2. Pendirian pabrik melamin ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik, mengurangi ketergantungan impor, membuka peluang kerja baru, serta mendukung peningkatan pertumbuhan ekonomi.
3. Pabrik melamin direncanakan dibangun di kawasan industri JIPE, Manyar, Gresik, Jawa Timur. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan, seperti kedekatan dengan sumber bahan baku, ketersediaan tenaga kerja, peluang pengembangan pabrik, ketersediaan utilitas seperti air dan listrik, serta prospek lokasi yang strategis karena berada dekat dengan PT. Petrokimia Gresik.
4. Berdasarkan Analisa ekonomi, maka didapatkan hasil sebagai berikut
 - a. Keuntungan yang diperoleh adalah Rp 150,010,458,145.79
 - b. *Return of Investment* yaitu 39%, dengan resiko pabrik yang rendah maka angka 39% sudah memenuhi persyaratan dengan minimal 11%
 - c. *Pay Out Time* (POT) yaitu 2 tahun, dengan resiko pabrik yang rendah maka POT 2 tahun sudah memenuhi persyaratan dengan maksimal 5 tahun

- d. *Break Event Point* (BEP) pada 41% kapasitas produksi dan *Shut Down Point* (SDP) pada 22% kapasitas produksi dengan angka segini maka BEP sudah memenuhi persyaratan yaitu berada di kisaran 40-60 %
- e. Nominal *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 19,2% telah memenuhi syarat lebih besar daripada 1,5 kali suku bunga bank saat ini sebesar yaitu 7,13% (BI).

Dari hasil analisis ekonomi diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik melamin dari urea dengan kapasitas 70.000 ton/tahun ini layak untuk dikaji lebih lanjut.

7.2 Saran

Perancangan pabrik kimia membutuhkan pemahaman terhadap berbagai konsep dasar guna meningkatkan kelayakan pembangunan suatu industri. Beberapa hal yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Pemilihan peralatan proses, peralatan pendukung, serta bahan baku harus dilakukan secara optimal agar keuntungan yang diperoleh perusahaan dapat dimaksimalkan.
2. Dalam proses perancangan pabrik kimia akan dihasilkan limbah, sehingga pengembangan industri yang menerapkan prinsip ramah lingkungan sangat diperlukan.
3. Produksi melamin memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai upaya memenuhi kebutuhan masyarakat pada masa yang akan datang.

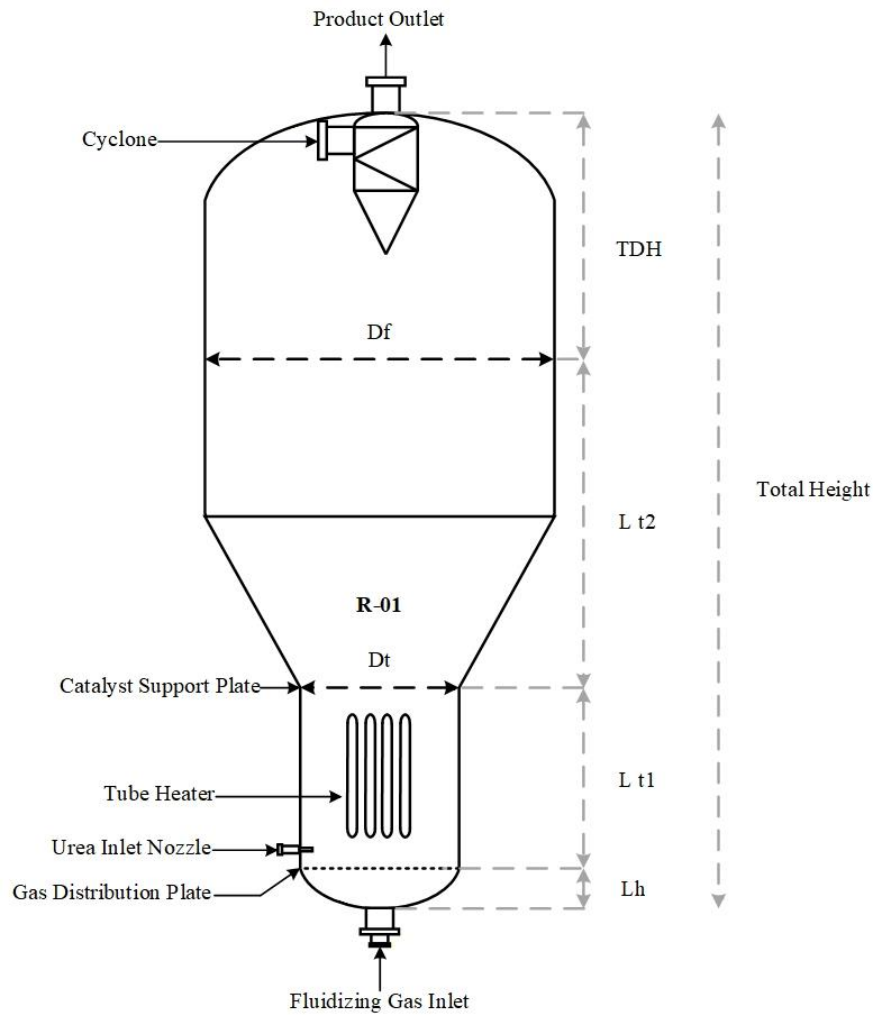
DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. &. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: McGraw-Hill.
- Brown, G. G. (1978). *Unit Operasion*. New York: Modern Asia Edition, John Willey and Sons, Inc.
- Brownell, L. E. (1959). *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons.
- Coulson, J. &. (1965). *An Introduction to Chemical Engineering Deign*, Vol 6. Oxford: Pergamon Press.
- Fogler, H. S. (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering (5th ed.)*. Pearson Education.
- Kern, D. (1965). *Process Heat Transfer, International Student Edition* . Tokyo: Mc. Graw Hill Co, Inc.,.
- Kunii, D. &. (1977). *Fluidization Engineering, Original Edition*. New York: Robert E/ Krieger Publishing Co.
- Kusumawati, A. &. (2018). Aplikasi resin melamin formaldehida sebagai perekat pada industri kayu komposit. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, 11(2), 89-102.
- Lehni, U. (2018). Preliminary Design of Melamine Plant Using Basf Process With Capacity Of 30.000 Tons/year.
- Levenspiel, O. (1972). *Chemical Reaction Engineering, 2th ed*. New York: John Wiley and Sons, Inc.,.
- Li, Q. S. (2019). Melamine and food safety: a 10-year review. Current opinion in food science, 30, 79-84. . *Current opinion in food science*, 30, 79-84.
- Perry, R. &. (1997). *Perry's Chemical Engineer's Hand Book, 7th ed*. Tokyo: Mc. Graw Hill Book Co, Inc.
- Peters, M. S. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4th penyunt*. New York: Mc Graw-Hill, Inc.
- Pizzi., A. (2017). *Wood adhesives: Chemistry and technology (2nd ed)*. CRC Press.
- Syah, M. J. (2016). Sintesis dan karakterisasi melamin dari urea dengan metode pirolisis. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(1), 45-54.
- Trayball, R. (1981). *Mass Transfer Operation 3nd ed*. Tokyo: Mc, Graw Hill Book Co, Inc.
- Ullman. (1990). *Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol A 16.,* Germany: VCH.
- Ullmann's. (2012). *Encyclopedia of Industrial Chemistry (Melamin)*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Ulrich, G. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Wahyudi, I. &. (2022). The Effect of Production Planning and Quality Control on The Final Product. *ResearchGate*.

- Wijaya, K. &. (2019). Melamin dan aplikasinya sebagai flame retardant pada industri polimer. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 20(3), 112-125.
- Yanuartono, I. S. (2017). Melamin: Toksisitas dan efeknya terhadap kesehatan manusia dan hewan. *Jurnal Sain Veteriner*, 35(1), 95-108.
- Yaws, C. (1999). *Thermodynamics and Physical Property Data*. New York: Mc. Graw Hill Book Co, Inc.
- Zacharias, E. (2022). The Importance of Quality Control for the Success of a Company.

LAMPIRAN

PERANCANGAN *FLUIDIZED BED REACTOR (FBR)*



Keterangan:

Lh : Tinggi *Head*

TDH : Transport Disengaging *Head*

Lt : Tinggi Zona Reaksi

Df : Diameter *Freeboard*

Dt : Diameter Zona Reaksi

Kode : FBR

Fungsi: Tempat merekasikan Urea menjadi Melamin, Amonia dan Karbondioksida

Langkah Perancangan:

1. Menentukan Tipe Reaktor

Dipilih reaktor tipe *Fluidized Bed* dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Reaktor *Fluidized Bed* merupakan sistem dua fase gas–padat, di mana fase padat berupa katalis alumina, sedangkan fase gas terdiri dari urea, amonia, dan karbon dioksida.
- b. Distribusi temperatur di dalam reaktor relatif seragam dan tidak ada masalah hotspot.
- c. Penggunaan partikel katalis berukuran kecil memungkinkan kontak antara fase gas dan padat menjadi lebih intensif.

2. Menentukan Bahan Konstruksi Reaktor

Bahan konstruksi yang dipilih adalah *Stainless Steel SA 285 Grade A*, dengan pertimbangan:

- a. Bahan tahan terhadap korosi
- b. Bahan tahan terhadap panas (sampai dengan 900°F atau 500°C)

3. Menentukan Dimensi Reaktor

- Reaksi Utama
$$6(\text{NH}_2)_2\text{CO} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6 + 6\text{NH}_3 + 3\text{CO}_2$$

Fase Reaksi	: Gas – Padat
Konversi	: 95%
Kondisi Operasi	: T = 395°C dan P = 3 atm
- Kinetika Reaksi : 0,001693076 mol/sec.kg

Hubungan antara jumlah katalis yang dibutuhkan dengan konversi reaksi dinyatakan melalui persamaan desain sebagai berikut:

$$W = \frac{F_{A0} X}{-r_A} \tag{2.2}$$

- Dimana: W = Massa katalis (kg)
- F_{A0} = Laju alir molar urea (mol/s)
- X = Konversi urea
- r_A = laju reaksi per satuan massa katalis

Perhitungan nilai k dari orde 0, orde 1, dan orde 2:

a. Perhitungan orde 0

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	k (mol/sec.kg)
5600	0,96	11	0,001886
6100	0,995	11	0,001794
6800	0,995	11	0,001609
7400	0,99	11,083	0,001483

b. Perhitungan Orde 1

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	Y _A	C _A (mol/kg)	k (1/sec)
A	0,96	11	0,2821	0,0084	0,2244
B	0,995	11	0,2803	0,0082	0,2182
C	0,995	11	0,2846	0,0086	0,1872
D	0,99	11,083	0,2879	0,0086	0,1731

c. Perhitungan Orde 2

W (kg)	X	F _{A0} (mol/sec)	Y _A	C _A (mol/kg)	k (kg/mol.s)
A	0,96	11	0,2821	0,0084	26,7
B	0,995	11	0,2803	0,0082	26,53
C	0,995	11	0,2846	0,0086	21,76
D	0,99	11,083	0,2879	0,0086	20,21

Penentuan Nilai k:

Untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi (k) yang paling representatif, digunakan parameter statistik berupa standar deviasi dan z-score dengan rumus berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(k_i - k_{rata-rata})^2}{n - 1}} \tag{1.3}$$

Dimana: S = Standar deviasi

K_i = Nilai k experiment

N = Banyak data

$$Z_{score} = \frac{k_i - k_{rata-rata}}{S} \tag{1.4}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa orde 0 memiliki nilai standar deviasi dan z-score paling kecil dibandingkan orde lainnya. Oleh karena itu, nilai konstanta laju reaksi (k) yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah nilai k rata-rata dari orde 0 yaitu 0,001693076 mol/sec.kg

- Menghitung Densitas Gas (ρ_g)

$$\rho_g = \frac{BM \text{ campuran} \times P}{R \times T}$$

(Levenspiel, 1972)

Keterangan:

- ρ_g : Densitas Gas (kg/m³)
- BM : Berat Molekul Campuran
- P : Tekanan Gas (atm)
- R : Konstanta Gas (L.atm/kmol.K)
- T : Suhu (K)

Komponen	BM (kg/kmol)	m (kg/jam)	n (kmol/jam)	Xi	BM.Xi
Urea (CH4N2O)	60	26.575,355	442,9225915	0,302	18,10716
Biuret (C2H5N3O2)	103	269,801	2,619	0,002	0,18383
Ammonia (NH3)	17	11.584,129	681,419	0,464	7,89286
Carbondioksida (CO2)	44	14.991,226	340,710	0,232	10,21430
Total		53.420,512	1467,671	1	36,39815

Substitusi:

$$BM = 18,10716$$

$$P = 3$$

$$R = 82,06$$

$$T = 688,15\text{ K}$$

Sehingga:

$$\rho_{\text{gas fluidisasi}} = 0,00099\text{ kg/L}$$

$$= 0,9908\text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{gas campuran}} = 0,00199\text{ kg/L}$$

$$= 1,9916\text{ kg/m}^3$$

- Menghitung Viskositas Gas
- $$(\mu\text{g}) \mu = A + BT + CT^2$$

(Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C
Urea (CH4N2O)	-13,895	2,7802E-01	-3,8420E-05
Biuret (C2H5N3O2)			
Ammonia (NH3)	-7,874	3,6700E-01	-4,4700E-06
Carbondioksida (CO2)	11,336	4,9918E-01	-1,0876E-04
Total			

Komponen	μg (cP)	μg campuran (cP)	μg (kg/m.s)
Urea (CH4N2O)	0,01547	0,004669	0,000005
Biuret (C2H5N3O2)	0	0	0
Ammonia (NH3)	0,02353	0,010927	0,000011
Carbondioksida (CO2)	0,02963	0,006879	0,000007
Total	0,06864	0,022474	0,000022

- Menentukan Berat Katalis Alumina (W)

$$W = \frac{F_{A0} \times X}{-r_A}$$

(Fogler, 2016)

Keterangan:

W : Berat Katalis (kg)

F_{A0} : Laju Molar Awal (mol/detik)

X : Konversi

$-r_A$: Laju Reaksi (mol/kg·detik)

Substitusi:

$$F_{A0} = 123,043 \text{ mol/detik}$$

$$X = 0,95$$

$$\begin{aligned} -r_A &= k \\ &= 0,0016931 \text{ mol/sec.kg} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$W = 69041,007 \text{ kg}$$

- Menentukan Volume Katalis Alumina (V_s)

$$V_s = \frac{W}{\rho_s}$$

Keterangan:

V_s : Volume Katalis (m^3)

W : berat katalis (kg)

ρ_s : densitas katalis (kg/m^3)

Substitusi:

$$W = 69041,007 \text{ kg}$$

$$\rho_s = 3950 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga:

$$V_s = 17,478 \text{ m}^3$$

- Menentukan Volume *bed*

$$V_{bed} = \frac{V_s}{(1 - \epsilon_{mf})}$$

Keterangan:

V_{bed} = Volume total *bed*

ϵ_{mf} = porositas

Substitusi:

$$\epsilon_{mf} = 0,44$$

Sehingga:

$$V_{bed} = 31,09 \text{ m}^3$$

- Menentukan laju alir volumetrik Gas Fluidisasi (Q)

$$Q = \frac{m}{\rho_g}$$

Keterangan:

Q : Laju Volumetrik Gas fluidisasi (m^3/detik)

m : Laju Massa Gas (kg/detik)

ρ_g : Densitas Gas (kg/m^3)

Substitusi:

$$m = 7,382 \text{ kg}/\text{detik}$$

$$\rho_g = 0,9908 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Sehingga:

$$Q_{\text{gas fluidisasi}} = 7,451 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Menentukan laju alir Volumetrik Urea (Q_{Urea})

$$Q = \frac{m}{\rho_g}$$

Keterangan:

Q : Laju Volumetrik Urea (m^3/detik)

m : Laju Massa Urea (kg/detik)

ρ_{urea} : Densitas Urea (kg/m^3)

Substitusi:

$$m = 7,382 \text{ kg}/\text{detik}$$

$$\rho_{\text{urea}} = 3,283 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Sehingga:

$$Q_{\text{urea}} = 2,2486 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Menentukan Waktu *bed* (t_{Bed})

$$t_{\text{Bed}} = \frac{V_{\text{bed}}}{Q_{\text{gas fluidisasi}} - Q_{\text{urea}}}$$

Keterangan:

t_{Bed} : Waktu *Bed* (detik)

V_{bed} : Volume *Bed* (m^3)

Substitusi:

$$V_{\text{bed}} = 31,094 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{gas fluidisasi}} = 7,451 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{\text{urea}} = 2,2486 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Sehingga:

$$t_{\text{Bed}} = 3,21 \text{ detik}$$

- Menentukan volume gas fluidisasi

$$V_{\text{gas fluidisasi}} = Q_{\text{gas fluidisasi}} \times t_{\text{bed}}$$

Substitusi:

$$Q_{\text{gas fluidisasi}} = 7,451 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$t_{\text{Bed}} = 3,21 \text{ detik}$$

Sehingga:

$$V_{\text{gas fluidisasi}} = 23,886 \text{ m}^3$$

- Menentukan Volume urea

$$V_{\text{urea}} = Q_{\text{urea}} \times t_{\text{bed}}$$

Substitusi:

$$Q_{\text{urea}} = 2,2486 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$t_{\text{Bed}} = 3,21 \text{ detik}$$

Sehingga:

$$V_{\text{urea}} = 7,21 \text{ m}^3$$

- Menentukan volume tinggi zona reaksi atas

$$\begin{aligned} V \text{ zona reaksi 2} &= V \text{ katalis} + V \text{ urea} + V \text{ gas fluidisasi} \\ &= 17,413 \text{ m}^3 + 7,21 \text{ m}^3 + 23,886 \text{ m}^3 \\ &= 48,506 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor keamanan 20\%} &= V \text{ zona reaksi 2 (1,2)} \\ &= 58,21 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Menentukan volume tinggi zona reaksi bawah

$$V \text{ zona reaksi 1} = V \text{ bed}$$

Sehingga:

$$V \text{ zona reaksi 1} = 31,094 \text{ m}^3$$

$$\text{Faktor keamanan 20\%} = 37,313 \text{ m}^3$$

4. Menghitung Kecepatan Fluidisasi Minimum zona reaksi bawah (U_{mf} bawah)

$$\frac{d_p \times U_{mf} \times \rho_g}{\mu} = [(28,7)^2 + \frac{(0,0494) \times (d_p)^3 \times \rho_g \times (\rho_s - \rho_g) \times g}{\mu^2}]^{\frac{1}{2}} - 28,7$$

(Kunii, 1977)

Keterangan:

U_{mf} bawah : Kecepatan Fluidisasi Minimum (m/s)

d_b : Diameter Gelembung urea (m)

ρ_g : Densitas Gas Fluidisasi (kg/m³)

ρ_s : Densitas Urea (kg/m³)

μ campuran gas: Viskositas gas fluidisasi

g : Gravitasi (m/s²)

Substitusi:

d_b : 0,1 m (berdasarkan grafik) (Kunii, 1977)

ρ_g : 0,991 kg/m³

ρ_s : 3,283 kg/m³

μ campuran gas : 0,0000178 kg/m.s

Sehingga:

$U_{mf} \text{ bawah} = 0,330 \text{ m/s}$

Maka kecepatan minimum yang harus dicapai gas agar terjadi fluidisasi yaitu 0,330 m/s. Syarat terjadinya fluidisasi adalah ketika kecepatan gas masuk (U_o) lebih besar dari kecepatan minimum fluidisasinya (U_{mf} bawah) (Lavenspiel, 1999).

5. Menghitung Diameter Zona Reaksi bawah (d_t)

- Menghitung U_o (Kecepatan Gas fluidisasi Masuk)

$U_o \text{ gas fluidisasai} = 3 \times U_{mf}$
 $U_o \text{ gas fluidisasi} = 3 \times U_{mf}$
 $= 3 \times 0,330 \text{ m/s}$
 $= 0,9887 \text{ m/s}$

- Menghitung Luas Penampang bawah (A)

$A \text{ bawah} = \frac{Q}{U_o}$

Keterangan:

$A \text{ bawah}$: Luas Penampang zona reaksi bawah (m^2)
 Q : Laju Volumetrik Gas fluidisasi (m^3/detik)
 $U_o \text{ gas fluidasi}$: Kecepatan Gas fluidisasi Masuk (m/s)

Sehingga:

$A \text{ bawah} = 7,5363 \text{ m}^2$

- Diameter Zona Reaksi bawah

$d_t = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{0,5}$

Keterangan:

$d_t \text{ bawah}$: Diameter Zona Reaksi bawah (m)
 $A \text{ bawah}$: Luas Penampang (m^2)

Substitusi:

$A \text{ bawah} = 7,5363 \text{ m}^2$

Sehingga:

$d_t \text{ bawah} = 3,0985 \text{ m}$
 $= 121,9866 \text{ in}$

6. Menghitung Tinggi Zona Reaksi bawah

$$H \text{ bawah} = \frac{V_{Bed}}{\pi \times r^2}$$

Keterangan:

H bawah : Tinggi zona reaksi bawah (m)

V zona reaksi bawah : Volume zona reaksi bawah (m³)

r : Jari jari zona reaksi bawah

Substitusi:

V zona reaksi bawah : 37,313 m³

r : 1,549 m

Sehingga:

H zona reaksi bawah : 4,95 m

Faktor Keamanan:

$$H_{Design} = H \times 1,2$$

$$H_{Design} = 5,9412 \text{ m}$$

7. Menghitung Kecepatan Fluidisasi Minimum zona reaksi atas (U_{mf} atas)

$$\frac{d_p \times U_{mf} \times \rho_g}{\mu} = [(28,7)^2 + \frac{(0,0494) \times (d_p)^3 \times \rho_g \times (\rho_s - \rho_g) \times g}{\mu^2}]^{\frac{1}{2}} - 28,7$$

(Kunii, 1991:70)

Keterangan:

U_{mf} atas : Kecepatan Fluidisasi Minimum (m/s)

d_p : Diameter katalis (m)

ρ_g : Densitas Gas (kg/m³)

ρ_s : Densitas padatan katalis (kg/m³)

μ campuran gas : Viskositas gas

g : Gravitasi (m/s²)

Substitusi:

d_p : 0,0002 m

ρ_g : 1,9916 kg/m³

ρ_s : 3965 kg/m³

μ campuran gas : 0,0000225 kg/m.s

Sehingga:

$$U_{mf} \text{ zona reaksi atas} = 0,058 \text{ m/s}$$

Maka kecepatan minimum yang harus dicapai gas agar terjadi fluidisasi yaitu 0,330 m/s. Syarat terjadinya fluidisasi adalah ketika kecepatan gas masuk (U_o) lebih besar dari kecepatan minimum fluidisasinya (U_{mf} atas) (Lavenspiel, 1999).

8. Menghitung Diameter Zona Reaksi bawah (d_t)

- Menghitung U_o (Kecepatan Gas Masuk)

$$U_o = 5 \times U_{mf}$$

$$\begin{aligned} U_o &= 5 \times U_{mf} \\ &= 5 \times 0,058 \text{ m/s} \\ &= 0,9887 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Menghitung Luas Penampang (A)

$$A = \frac{Q}{U_o}$$

Keterangan:

A : Luas Penampang (m^2)

Q : Laju Volumetrik Gas (m^3/detik)

U_o : Kecepatan Gas Masuk (m/s)

Sehingga:

$$A = 25,2014 \text{ m}^2$$

- Diameter Zona Reaksi atas

$$d_t = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{0,5}$$

Keterangan:

d_t bawah : Diameter Zona Reaksi atas (m)

A : Luas Penampang (m^2)

Substitusi:

$$A = 25,2014 \text{ m}^2$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} d_t \text{ bawah} &= 5,6996 \text{ m} \\ &= 224,3955 \text{ in} \end{aligned}$$

9. Menghitung Tinggi Zona Reaksi atas

$$H_{atas} = \frac{V_{zona\ reaksi\ atas}}{\pi \times r^2}$$

Keterangan:

- H zona reaksi atas : Tinggi zona reaksi atas (m)
- V zona reaksi atas : Volume zona reaksi atas (m³)
- r : Jari jari zona reaksi atas

Substitusi:

- V zona reaksi atas : 58,2079 m³
- r : 2,8498 m

Sehingga:

- H zona reaksi atas : 2,2825 m

Faktor Keamanan:

$$H_{Design} = H \times 1,2$$

$$H_{Design} = 2,739\text{ m}$$

10. Menghitung Transport Disengaging Height (TDH)

- U_{mf} = 0,058 m/s
- d_t = 5,6996 m

Berdasarkan Kuni (Gambar 5, halaman 173), diperoleh nilai TDH/dt yaitu 0,65.

$$TDH = 3,7048\text{ m}$$

Faktor Keamanan:

$$TDH_{Design} = TDH \times 1,2$$

$$TDH_{Design} = 4,4457\text{ m}^3$$

11. Menghitung Tebal Shell

- Tebal Dinding Reaktor (Shell)

$$t_s = \frac{P \times r_i}{(f \times E) - (0,6 \times P)} + C$$

(Brownell, 1959)

Keterangan:

- t_s = Tebal dinding (in)

P : Tekanan desain reaktor (psi)
 r_i : Inside radius of *shell* (in)
 f : Tekanan maksimum
 E : Efisiensi pengelasan
 C : Faktor korosi

Substitusi:

P = 44,0878
 r_i = 70,6106
 f = 10250
 E = 0,85
 C = 0,125

Sehingga,

t_s = 0,4834 in
 = 0,0110 m

Digunakan tebal *shell* standar ½ in atau 0,5 in.

- Menghitung Tebal dan Tinggi *Head* Bawah

Tebal *Head*

$$O_D = d_f + 2t_s$$

Keterangan:

OD = Diameter luar reaktor (m)
 d_f = Diameter dalam reaktor (m)
 t_s = Tebal dinding (m)

Sehingga:

OD = 3,1205 m
 = 122,8558 in

Digunakan diameter luar standar 144 in.

Dari (Brownell, 1959) (Tabel 5.7, halaman 90), untuk OD yang mendekati 126 in dengan tebal *shell* ½ in diperoleh nilai:

Jari-jari sudut dalam *dish head*: i_{cr} = 7,625 in

Jari-jari *dish head*: r_c = 120 in

$$W = \frac{1}{4} (3 + \sqrt{\frac{r_c}{i_{cr}}})$$

Keterangan:

W : Lebar penguat (in)
 i_{cr} : Jari-jari sudut dalam *dish head* (in)
 r_c : Jari-jari *dish head* (in)

Substitusi:

$$i_{cr} = 7,625 \text{ in}$$

$$r_c = 120 \text{ in}$$

Sehingga,

$$W = 2,7172 \text{ in}$$

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{(2f \times E) - (0,2 \times W)}$$

Keterangan:

t_h : Tebal *Head*

P : Tekanan desain reaktor (psi)

r_c : Jari-jari *dish head* (in)

W : Lebar penguat (in)

f : Tekanan maksimum

E : Efisiensi pengelasan

Substitusi:

$$P = 44,0878$$

$$r_c = 132$$

$$W = 2,6357$$

$$f = 10250$$

$$E = 0,85$$

Sehingga,

$$t_h = 0,8250 \text{ in}$$

Digunakan t_h standar 1 in.

Tinggi Head

$$ID = 3,0985 \text{ m}$$

$$t_s = 0,0127 \text{ m}$$

$$OD = I_D + 2t_s$$

$$OD = 3,1205 \text{ m}$$

$$= 122,8558 \text{ in}$$

Digunakan OD standar 126 in.

$$sf = 3 \text{ in}$$

$$= 0,0762 \text{ m}$$

$$i_{cr} = 7,625 \text{ in}$$

$$= 0,1937 \text{ m}$$

$$r = 120 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,0480 \text{ m} \\
 a &= ID/2 \\
 &= 1,5492 \text{ m} \\
 AB &= a - irc \\
 &= 1,3556 \text{ m} \\
 BC &= rc - irc \\
 &= 2,8543 \text{ m} \\
 AC &= \sqrt{BC^2 + AB^2} \\
 &= 2,5119 \text{ m} \\
 b &= rc - AC \\
 &= 0,5361 \text{ m} \\
 sf &= 3 \text{ in} \\
 &= 0,0762 \text{ m} \\
 Lh &= th + b + sf \\
 &= 0,6333 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dengan faktor keamanan 20%, maka $Lh = 0,7599 \text{ m}$

- Menghitung Tebal dan Tinggi *Head* Atas

Tebal dan tinggi *head* atas merupakan 2 kali tebal dan tinggi *head* bawah, sehingga:

$$\begin{aligned}
 t_h &= 2 \times 0,8250 \text{ in} \\
 &= 1,65 \text{ in} \\
 L_h &= 2 \times 0,7599 \text{ m} \\
 &= 1,5198 \text{ m}
 \end{aligned}$$

12. Menghitung Diameter *Freeboard*

Untuk menghindari terjadinya *entrainment* atau terjadinya aliran partikel padat pada *freeboard*, maka kecepatan gas pada *freeboard* (U_o) < U_t

$$Af = \frac{Q}{U}$$

$$Af = 25,501 \text{ m}^2$$

$$Df = \left(\frac{4 \times A}{\pi} \right)^{0,5}$$

$$Df = 5,6996 \text{ m}$$

13. Menghitung Dimensi Gas Distribution Plate

- Menghitung *Pressure Drop Distributor*

$$\frac{\Delta P_d}{L_{mf}} = (1 - \epsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c}$$

Keterangan:

ΔP_d : *pressure drop distributor* (kg/m²)

L_{mf} : tinggi minimum fluidisasi (m)

ϵ_{mf} : *void fraction* minimum fluidisasi

ρ_s : densitas partikel (kg/m³)

ρ_g : densitas gas (kg/m³)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

g_c : konstanta konversi

Substitusi:

$$L_{mf} = 2,3048$$

$$\epsilon_{mf} = 0,44$$

$$\rho_s = 3,282$$

$$\rho_g = 0,99$$

$$g = 9,8$$

$$g_c = 9,8$$

Sehingga:

$$\Delta P_b = 2,9585 \text{ kg/m}^2$$

$$= 0,000286 \text{ atm}$$

- Menghitung Koefisien *Orifice* (Re)

$$Re_t = \frac{d_t \times U_o \times \rho_g}{\mu}$$

Keterangan:

Re_t : bilangan Reynolds

d_t : diameter *orifice* (m)
 U_o : kecepatan gas (m/s)
 ρ_g : densitas gas (kg/m³)
 μ : viskositas gas (kg/m.s)

Substitusi:

$d_t = 3,0985$
 $U_o = 0,9887$
 $\rho_g = 0,99$
 $\mu = 0,0000178$

Sehingga:

$Re_t = 170456,740$

- Menghitung Kecepatan Gas Melalui *Orifice* (U_{or})

$$U_{or} = C_{d,or} \left(\frac{2\Delta P_d}{\rho_g} \right)^{0,5}$$

Keterangan:

U_{or} : kecepatan gas pada *orifice* (m/s)
 $C_{d,or}$: koefisien *discharge*
 ΔP_d : *Pressure drop distributor*
 ρ_g : densitas gas (kg/m³)

Substitusi:

$C_{d,or} = 0,6$
 $\Delta P_d = 2,9585$
 $\rho_g = 0,99$

Sehingga:

$U_{or} = 1,4663 \text{ m/s}$
 $d_{or} = 0,0185 \text{ m}$

- Menghitung Jumlah Lubang (N_{or})

$$N_{or} = \frac{4U_o}{\pi \times U_{or} \times d_{or}^2}$$

Keterangan:

N_{or} : jumlah lubang

U_o : kecepatan gas (m/s)

U_{or} : kecepatan gas pada *orifice* (m/s)

d_{or} : diameter *orifice* (m/s)

Substitusi:

$$U_o = 0,9987$$

$$U_{or} = 1,4663$$

$$d_{or} = 0,185$$

Sehingga:

$$N_{or} : 25 /m^2$$

- Menghitung Luas Penampang Lingkaran Bawah

$$A: \frac{\pi dt^2}{4}$$

Sehingga:

$$A = 7,5363 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah lubang} = A \times N_{or}$$

$$\text{Jumlah lubang} = 188 \text{ lubang}$$

14. Menghitung Waktu Tinggal Zona Reaksi Atas

$$t_{atas} = H_{atas} / U_o$$

$$t_{atas} = 10 \text{ s}$$

15. Menghitung Waktu Tinggal Zona Reaksi Bawah

$$t_{bawah} = H_{bawah} / U_o$$

$$t_{bawah} = 6 \text{ s}$$

16. Menghitung Dimensi *Sieve tray*

$$A = 7,5363 \text{ m}^2$$

$$Q = 7,4509 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\Delta P = 0,8869 \text{ atm}$$

- Mencari Luas Total Lubang

$$A_h = \phi \times A$$

Keterangan:

A_h : luas total lubang (m²)

ϕ : fraksi *open area*

A : luas penampang (m²)

Substitusi:

$$\phi = 40\%$$

$$A = 7,5363$$

Sehingga:

$$A_h = 3,0145 \text{ m}^2$$

- Mencari Luas Per Lubang

$$a_h = \frac{\pi}{4} d^2$$

Keterangan:

a_h : luas satu lubang (m^2)

d : diameter lubang (m)

Substitusi:

$$d = 0,01$$

Sehingga:

$$a_h = 0,0000785 \text{ m}^2$$

- Mencari Jumlah Lubang

$$N = \frac{A_h}{a_h}$$

Keterangan:

N : Jumlah lubang

A_h : luas total lubang (m^2)

a_h : luas satu lubang (m^2)

Substitusi:

$$A_h = 3,0145$$

$$a_h = 0,0000785$$

Sehingga:

$$N = 38.402 \text{ lubang}$$

Ketebalan Tray:

Berdasarkan Coulson & Richardson Chemical Engineering Volume 6, dipilih:

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$= 0,003 \text{ m}$$

17. Menghitung Volume Total Reaktor (V_r)

$$V_r = V_{TDH} + V_{reaksi}$$

Keterangan:

V_r : volume total reaktor (m^3)

V_{TDH} : volume *Transport Disengaging Height* (m^3)

V_{reaksi} : volume zona reaksi (m^3)

- Mencari Volume TDH

$$V_{TDH} = \frac{\pi}{4} \times (Df)^2 \times (L_{TDH} - Lf) + \frac{\pi}{3} \times Lf \times \frac{1}{4} (Df^2 + Df \times Dy + Dr^2)$$

Sehingga:

$$V_{TDH} = 119,8855 \text{ m}^3$$

- Mencari Volume Reaksi

$$V_r = \frac{\pi}{4} \times (Dt)^2 \times Lt$$

Sehingga:

$$V_r = 44,7753 \text{ m}^3$$

- Mencari Volume Total Reaktor

$$V_r = V_{TDH} + V_{reaksi}$$

Keterangan:

V_r : volume total reaktor (m^3)

V_{TDH} : volume *Transport Disengaging Height* (m^3)

V_{reaksi} : volume zona reaksi (m^3)

Sehingga:

$$V_{reaktor} = 198,004 \text{ m}^3$$

18. Menghitung *tube* reaktor

a. Menentukan ΔT_{LMTD}

$$T1 \text{ (suhu masuk)} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T2 \text{ (suhu keluar)} = 395 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t1 \text{ (suhu pemanas masuk)} = 405 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t2 \text{ (suhu pemanas keluar)} = 395 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t2 - \Delta t1}{\ln \frac{\Delta t2}{\Delta t1}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 44,503 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 112,1005 \text{ }^\circ\text{F}$$

b. Menghitung viskositas *molten salt*

$$A = 1,561$$

$$B = 2,6 \times 10^{-4}$$

$$T_{avg \text{ hot fluid}} = 678,15 \text{ K}$$

$$\mu_{molten \text{ salt}} = A + B (T)$$

$$\mu_{molten \text{ salt}} = 1,736019 \text{ cP}$$

$$\mu_{molten \text{ salt}} = 4,1996035 \text{ lb/ft.hr}$$

$$\mu_{molten \text{ salt}} = 15,1299 \text{ kg/m.hr}$$

c. **Heat capacity molten salt**

Cp molten salt pada campuran 40% kalium nitrat dan 60% natrium nitrat

$$Cp_{molten \text{ salt}} = 1,53 \text{ kJ/kg.K}$$

d. **Menentukan konduktivitas termal molten salt**

$$A = 0,443$$

$$B = 1,9 \times 10^{-4}$$

$$T_{hot \text{ fluid avg}} = 678,15$$

$$K_{salt} = A + B(T)$$

$$K_{salt} = 3,306 \times 10^{-1}$$

e. **Menentukan luas transfer panas**

$$Q = 7.017.576,152 \text{ kJ/jam}$$

$$Ud = 150 \text{ btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = Q / Ud (\Delta T_{LMTD})$$

$$A = 395,5425 \text{ ft}^2$$

f. **Menentukan hi**

$$k = 0,1 \text{ Btu/hr.ft}^2$$

$$Cp = 1,53 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\mu = 4,1996 \text{ cP}$$

$$De = 0,118 \text{ ft}$$

$$Gt = W/at$$

$$Gt = 2862748,81 \text{ lb/hr.ft}^2$$

$$Re = De (Gt) / \mu$$

$$Re = 80273,971$$

$$jH = 200 \text{ (Grafik 24.kern. Halaman 834)}$$

$$hi = jH \frac{k}{De} \left(\frac{c \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \Phi_s$$

$$hi = 645,075 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$hio = hi \times ID/OD$$

$$hio = 583,147 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

g. **Menentukan Pressure drop**

$$\Delta P_t = \frac{ft \times Gt^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D_s \times \phi_1}$$

$$\Delta P_t = 10,532 \text{ psi}$$

$$\Delta P_r = (4n/s) (V^2/2g')$$

$$\Delta P_r = 0,210$$

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_r$$

$$\Delta P = 10,742 \text{ psi}$$

h. Spesifikasi Tube

Berdasarkan tabel dan grafik pada buku (Kern, 1965) dipilih spesifikasi *tube* untuk *reactor* yaitu:

Spesifikasi Tube		
<i>Length</i>	3,6576 m	
<i>Passes</i>	2 <i>Passes</i>	
Diameter luar	0,03175 m	
Diameter dalam	0,028702 m	
<i>Number</i>	161	
BWG	17	
<i>Pitch</i>	0,040 m	<i>Triangular Pitch</i>
<i>Pressure drop tube</i>	10,742 psi	

19. Tabel Kesimpulan Hasil Perhitungan Reaktor

Dari hasil perhitungan perancangan *reactor* dapat disimpulkan bahwa *reactor* yang digunakan di pabrik melamin dari urea ini memiliki spesifikasi sebagai berikut

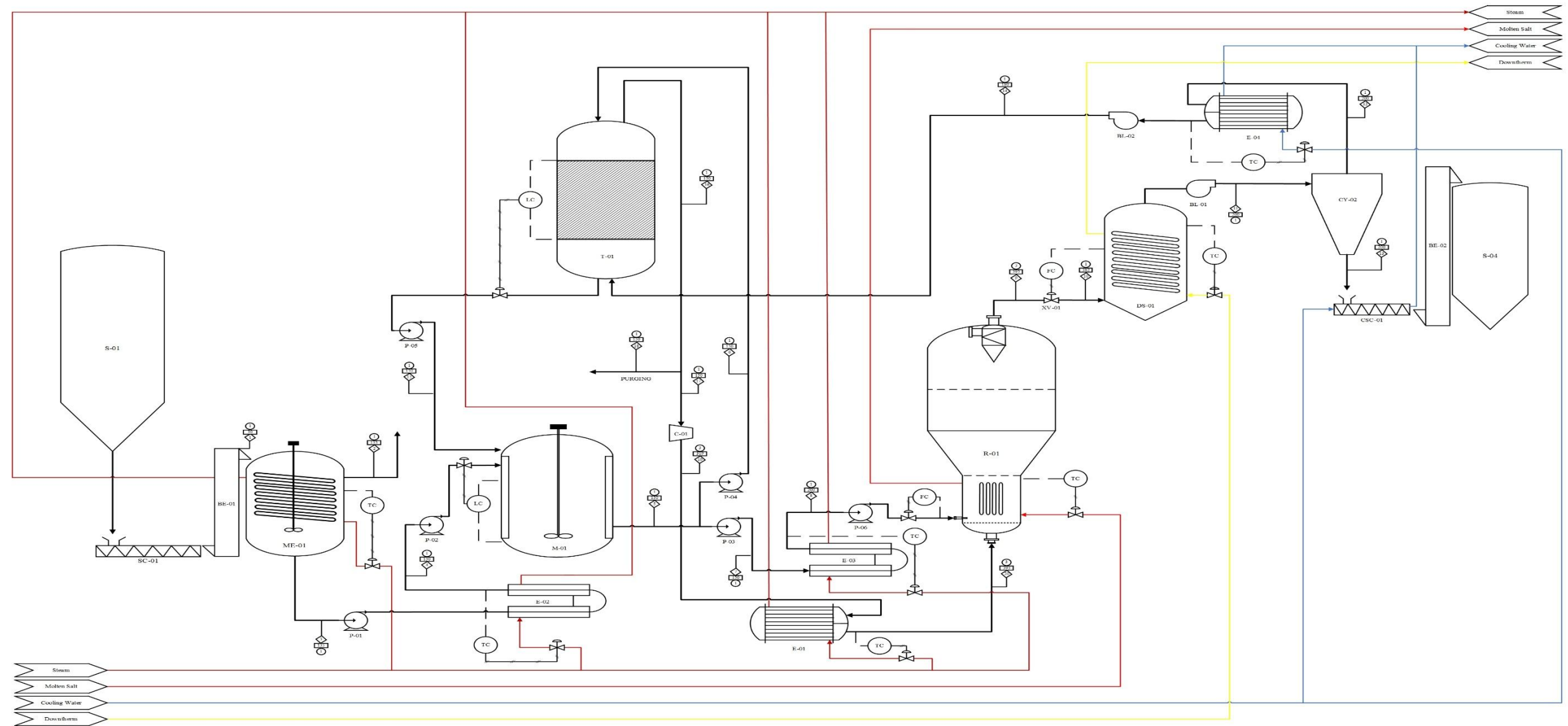
Fluidized Bed Reactor		
Kode	FBR-01	
Fungsi	Tempat bereaksinya urea menjadi melamin, amonia, dan karbon dioksida	
Type	<i>Fluidized Bed</i>	
Bahan	<i>Stainless Steel SA-283 Grade C</i>	
Unit	1	
Kondisi Operasi	Suhu	395 °C
	Tekanan	3 atm
Spesifikasi	Tinggi total <i>reactor</i>	15,406 m
	<i>Transport Disengaging Height (TDH)</i>	4,446 m

	Tinggi Zona Reaksi atas	2,739 m
	Tinggi Zona Reaksi Bawah	5,941 m
	Tinggi <i>Head</i> Total (Lh)	2,280 m
	Tinggi <i>Head</i> bawah	0,7599 m
	Tinggi <i>Head</i> atas	1,5198 m
	Diameter <i>Freeboard</i> (Df)	5,7 m
	Diameter zona reaksi atas	5,7 m
	Diameter zona reaksi bawah	3,098 m
	Volume Reaktor	198,004 m ³
	Volume reaksi bawah	44,7753 m ³
	Volume reaksi atas	69,8494 m ³
	Volume TDH	83,3721 m ³
	Volume <i>head</i> atas	0,004 m ³
	Volume <i>head</i> bawah	0,0028 m ³
	Waktu tinggal zona reaksi atas	10 detik
	Waktu tinggal zona reaksi bawah	6 detik
	Jumlah lubang <i>distribution plate</i>	188 lubang
	Luas total lubang <i>sieve tray</i>	3,0145 m ²
	Luas lubang <i>sieve tray</i>	0,0000785 m ²
	Jumlah lubang <i>sieve tray</i>	38402 lubang
	Tebal <i>tray</i>	0,003 m
	Diameter lubang <i>tray</i>	0,01 m
	Diameter <i>orifice</i>	0,027 m
Spesifikasi <i>Tube</i>		
<i>Length</i>	3,6576 m	
<i>Passes</i>	2 <i>Passes</i>	
Diameter luar	0,03175 m	
Diameter dalam	0,028702 m	
<i>Number</i>	161	
BWG	17	

<i>Pitch</i>	0,040 m	<i>Triangular Pitch</i>
<i>Pressure drop tube</i>	10,742 psi	

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PRARANCANGAN PABRIK MELAMIN DARI UREA DENGAN KAPASITAS 70.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES BASF



Komponen	Nomor Arus																			
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8	Arus 9	Arus 10	Arus 11	Arus 12	Arus 13	Arus 14	Arus 15	Arus 16	Arus 17	Arus 18	Arus 19	Arus 20
Urea	25.248,00	0,00	25.248,00	25.248,00	113.633,44	87.058,08	26.575,36	26.575,36	1.329,00	1.329,00	1.328,77	1.327,04	1,73	1.327,04	88.385,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Water	256,00	256,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Buret	0,00	0,00	0,00	0,00	1.153,64	883,34	269,80	269,80	270,00	270,00	269,80	269,45	0,35	269,45	1.153,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ammonia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.737,00	18.737,33	18.737,33	18.737,33	0,00	18.737,33	0,00	18.737,33	11.584,13	7.153,20	11.584,13	11.584,13
Carbon Dioxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24.248,00	24.248,31	24.248,31	24.248,31	0,00	24.248,31	0,00	24.248,31	14.991,23	9.257,08	14.991,23	14.991,23
Melamine	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8.836,31	0,00	8.836,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	25.505,00	256,00	25.249,00	25.249,00	114.787,00	87.942,00	26.845,00	26.845,00	44.584,00	44.584,00	53.418,00	44.582,00	8.838,00	44.582,00	89.538,00	42.986,00	26.575,00	16.410,00	26.575,00	26.575,00

KETERANGAN

S	Silo	E	Heat Exchanger
ME	Mixer	C	Compressor
M	Mixer	L	Level Controller
R	Reactor	LC	Pressure Controller
DS	Distillation	TC	Temperature Controller
CV	Control Valve	FC	Flow Controller
T	Tank		
P	Pump		
BL	Blower		
SC	Screw Conveyor		
CSC	Cooling Screw Conveyor		
BE	Bucket Elevator		
NV	Expansion Valve		

1. Ahmad Syarifuddin Muslim 22521021
2. Adil Khalifa Schwan 22521066
Dosen Pembimbing:
Dr. Dyah Retno Savitri, S.T., M.Eng.

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Ahmad Syaifullah Muslim
No. Mahasiswa 1 : 22521021
Nama Mahasiswa 2 : Adel Khalifa Ichwan
No. Mahasiswa 2 : 22521066
Judul Pra rancangan Pabrik : Pra Rancangan Pabrik Melamin dari Urea Dengan Kapasitas 70.000 Ton/Tahun Menggunakan Proses BASF
Semester/Tahun Akademik : 8/2025-2026
Nama Dosen Pembimbing : Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	10 Oktober 2025	Diskusi mengenai data untuk penentuan kapasitas	CR
2	17 Desember 2025	Penentuan kapasitas pabrik	CR CR
3	6 Februari 2026	Penentuan proses pabrik yang digunakan	CR CR
4	9 Februari 2026	Penentuan sifat bahan baku dan produk	CR CR
5	19 Februari 2026	Fiksasi diagram alir kualitatif	CR CR
6	25 Februari 2026	Perhitungan neraca massa	CR CR
7	2 April 2026	Kendala pada luaran 6 dan luaran 7	CR CR
8	9 April 2026	Progres perancangan alat kecil dan PFD	CR CR
9	15 April 2026	Perancangan reactor, alat kecil, dan PFD	CR CR
10	24 April 2026	Neraca panas, utilitas, ekonomi, dan upload luaran 7-12	CR CR

Disetujui Draft Penulisan :
Yogyakarta, 28 April 2026
Pembimbing,

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