PRARANCANGAN PABRIK PUPUK NPK DARI *GREEN AMMONIA* KAPASITAS 130.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia



Oleh:

Nama: Putri Jeni Asih

No. Mahasiswa: 22521089

Nama: Desy Noviyanti

No. Mahasiswa: 22521094

PRORAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama: Putri Jeni Asih	**Nama: Desy Noviyanti**
No. Mahasiswa: 22521089	**No. Mahasiswa: 22521094**

Yogyakarta, 22 Mei 2026

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

Tanda Tangan,
Mahasiswa 1



Putri Jeni Asih

Tanda Tangan,
Mahasiswa 2



Desy Noviyanti

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK PUPUK NPK DARI *GREEN AMMONIA*
KAPASITAS 130.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama: Putri Jeni Asih
No. Mahasiswa: 22521089

Nama: Desy Noviyanti
No. Mahasiswa: 22521094

Yogyakarta, 22 Mei 2026

Pembimbing,

Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng.

NIK. 055210503

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK PUPUK NPK DARI *GREEN AMMONIA*

KAPASITAS 130.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama: Putri Jeni Asih **Nama: Desy Noviyanti**

No. Mahasiswa: 22521089 **No. Mahasiswa: 22521094**

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, 10 Juli 2026

Tim Penguji,

Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng. _____

Ketua

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

Anggota I

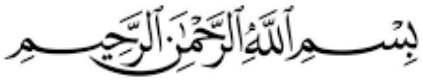
Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng. _____

Anggota II

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

Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., IPM, ASEAN Eng.
NIK.995200445

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur Alhamdulilah atas rahmat, hidayah dan inayah-nya dari Allah SWT, akhirnya kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul "PRARANCANGAN PABRIK PUPUK NPK DARI *GREEN AMMONIA* KAPASITAS 130.000 TON/TAHUN" ini disusun sebagai penerapan dari Ilmu Teknik Kimia yang telah didapat dibangku kuliah, dan sebagai satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan petunjuk dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak dan Ibu kedua orang tua kami, yang telah banyak memberikan doa, dukungan dan motivasi tiada henti.
3. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

5. Ibu Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng., Dr selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih banyak telah memberikan pengarahan, bimbingan, serta dukungan dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, oleh sebab itu kami mengharapkan kritik dan saran atau masukan untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan pembaca pada umumnya. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 25 Mei 2025

Penyusun,

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Hirabbil 'Alamin dengan ucapan syukur yang tiada henti penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'Ala yang telah memberikan kemudahan selama penyusunan tugas akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya sebagai tahapan terakhir perkuliahan serta gambaran dan bentuk perjuangan penulis dalam menjalani perkuliahan selama ini.

Perjalanan panjang ini tidak akan pernah bisa penulis lalui sendirian. Ada banyak tangan yang menopang, banyak hati yang mendoakan, dan banyak senyum yang menguatkan. Maka dari itu, dengan segala rasa syukur dan hormat, tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Pintu surgaku, Ibu tercinta terima kasih sebesar-besarnya penulis berikan kepada beliau atas segala bentuk bantuan, semangat dan doa tiada henti yang diberikan selama ini. Terima kasih atas nasihat yang diberikan meski terkadang pikiran kita tidak sejalan. Ibu menjadi penguat dan pengingat paling hebat. Terima kasih sudah menjadi tempat untuk pulang. *Please live a longer life ibu.*
2. Cinta pertama saya, bapak penulis. Beliau memang tidak sempat menempuh bangku perkuliahan, namun beliau mampu mendidik penulis, memberikan semangat dan motivasi tiada henti hingga penulis dapat menyelesaikan studinya sampai sarjna. *Thank you for carrying the world on your shoulders for us, Bapak. Please stay with us for a very long time.*
3. Kepada Ibu Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng., terima kasih atas segala waktu, kesabaran, dan bimbingan ilmu yang tak ternilai harganya, baik sejak masa bimbingan Kerja Praktek hingga penyelesaian Tugas Akhir ini. Setiap kritik,

saran, dan ketelitian yang Ibu berikan tidak hanya menuntun penulis menyelesaikan tugas akhir, tetapi juga menjadi pelajaran hidup yang berharga bagi penulis untuk selalu berpikir kritis, bertanggung jawab.

4. Kepada Desy**,** rekan seperjuangan dalam tugas akhir ini. Terima kasih atas komitmen, kerja keras, dan keterbukaan dalam bertukar pikiran. Perjalanan yang dimulai dengan keraguan ini berhasil diselesaikan dengan baik karena komitmen bersama untuk saling mendukung dan tidak menyerah.
5. Kepada Sahabat Grup KRS Reborn (Bima, Salsa, Desy, Ghea, Okta, Diva, Ara, Aisyah). Terima kasih atas dukungan luar biasa, ruang diskusi, dan kebersamaan yang selalu mencairkan suasana. Kehadiran kalian membuat perjalanan kuliah yang rumit ini menjadi jauh lebih berharga.
6. Kepada Sahabat Grup Musyrifah Gadungan (Nasywa, Salsa, Desy). Terima kasih atas ketulusan persahabatan, ruang berbagi yang menenangkan, dan dukungan dalam kebaikan. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga erat hingga masa depan.
7. Kepada diri penulis sendiri. Terima kasih karena telah menolak untuk menyerah dan memilih tetap teguh berdiri melewati setiap fase terberat dalam perkuliahan ini. Tugas akhir ini bukan sekadar pencapaian akademis, melainkan bukti nyata atas ketangguhan, komitmen, dan keberanian penulis untuk menuntaskan apa yang telah dimulai.

Putri Jeni Asih

Teknik Kimia UII 2022

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Hirabbil 'Alamin dengan ucapan syukur yang tiada henti saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'Ala yang telah memberikan kemudahan selama penyusunan tugas akhir ini sehingga saya dapat menyelesaikannya sebagai tahapan terakhir perkuliahan serta gambaran dan bentuk perjuangan saya dalam menjalani perkuliahan selama ini.

Perjalanan panjang ini tidak akan pernah bisa saya lalui sendirian. Ada banyak tangan yang menopang, banyak hati yang mendoakan, dan banyak senyum yang menguatkan. Maka dari itu, dengan segala rasa syukur dan hormat, tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu dan Bapak tercinta, Desy mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas semua kasih sayang yang tak bersyarat, serta perjuangan tanpa lelah yang Ibu dan Bapak dedikasikan demi masa depan Desy. Terima kasih karena senantiasa melangitkan doa-doa terbaik tanpa pernah terputus, dimana itu menjadi alasan utama untuk terus bangkit di masa sulit. Semoga karya ini dapat menjadi salah satu bentuk bakti dan kebanggaanku kepada Ibu dan bapak.
2. Mba Nani dan Mas Ulil. Terima kasih atas dukungan moral, perhatian, dan motivasi yang tak pernah terputus selama proses perkuliahan ini. Kehadiran kalian sebagai penyemangat, pelindung, serta pendengar yang baik senantiasa memberikan kekuatan serta ketenangan baru di kala saya menghadapi titik jenuh dalam dunia perkuliahan.
3. Ibu Dr. Ariany zulkania, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran, keikhlasan serta ketelitian yang Ibu luangkan untuk

membimbing saya dalam proses penyusunan tugas akhir ini. Saran dan masukan Ibu terus mendukung saya untuk memperbaiki diri. Dukungan moral dari Ibu menjadi penyemangat ketika rasa lelah dan kebingungan sering datang. Saya sangat bersyukur mendapatkan pembimbing sebaik dan sepeduli Ibu. Semoga segala ilmu dan kebaikan yang diberikan mendapat balasan terbaik dari Allah SWT. Aamiin.

4. Putri Jeni Asih, Partner tugas akhir yang luar biasa. Terima kasih Ieni, atas komitmen, kerja keras, dan perjuangan bersama dari awal kita melangkah. Terima kasih telah bersedia berbagi beban, meluangan waktu, berdisukusi, serta saling menguatkan selama ini. Proses yang kita hadapi tidaklah mudah, saya sangat bersyukur kamu memilihku sebagai partner tugas akhir ini. Maaf apabila aku lalai dan sering merepotkan. Sukses selalu Jeni, Aamiin.
5. Teman-teman KRS Reborn: Salsa, Jeni, Bima, Diva, Ara, Ghea, Okta, dan Ais. Terima kasih telah menjadi warna warni kehidupan dari semester awal hingga akhir. Kalian tempat berkeluh kesah selama ini, terima kasih sudah mau menampung cerita di sela-sela sibuknya kalian. Kebersamaan, gelak tawa, serta suka duka yang telah kita jalani akan selalu menjadi lembaran cerita penuh makna dan selalu kusimpan rapat dalam ingatan. Sukses selalu KRS Reborn, Aamiin.
6. Grup Musyrifah Gadungan: Nasywa, Salsa, dan Jeni. Terima kasih karena selalu setia mendampingi saya dalam setiap proses pasang surut emosional selama penyusunan skripsi ini. Kehadiran kalian sebagai ruang aman untuk bertukar

cerita, berkeluh kesah, hingga menertawakan kesulitan menjadi penguat mental yang sangat berarti bagi saya untuk tetap waras dan fokus.

7. Intan dan Ghea, sahabat yang selalu hadir dalam setiap situasi. Terima kasih atas ketulusan, kepedulian, dan kesediaan kalian untuk selalu ada memberikan dukungan moral serta kehangatan persahabatan, baik dalam momen bahagia maupun di titik-titik terendah saya. *Nothing can really express how lucky I'am to have you in my life.*
8. Aqis, terima kasih yang mendalam atas segala bentuk dukungan emosional dan kiriman doa tulus yang selalu kalian berikan dari jauh. Energi positif dan motivasi yang konstan darimu menjadi dorongan tambahan bagi saya untuk terus melangkah menyelesaikan studi ini.
9. Caca, Upeh, Diah, dan Linda terima kasih senantiasa mendengarkan keluh kesah selama kehidupan semester akhir ini. Terima kasih selalu ada ketika rasa lelah dan suntuk mulai datang.
10. Terima kasih kepada seluruh 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. Setiap peran, sekecil apa pun itu, memiliki arti yang besar dan menjadi bagian penting dari perjalanan serta pencapaian saya hingga titik ini.
11. Terakhir untuk Diri Saya Sendiri, terima kasih telah bertahan sejauh ini. Terima kasih karena tidak memilih mundur atau menyerah di masa-masa paling sulit.

Desy Noviyanti

Teknik Kimia UII 2022

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iii
KATA PENGANTAR iv
LEMBAR PERSEMBAHAN vi
LEMBAR PERSEMBAHAN viii
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR LAMPIRAN xx
DAFTAR LAMBANG xxi
ABSTRAK xxii
ABSTRACT xxiii
BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik 2
1.2.1 Supply 4
1.2.2 Demand 6
1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku 9
1.3 Tinjauan Pustaka 12
1.3.1 Pupuk NPK 12
1.3.2 Green Ammonia 12
1.3.3 Asam Sulfat 13
1.3.4 Asam Fosfat 14
1.3.5 Kalium Klorida 15
1.3.6 Amonium Sulfat 16
1.3.7 Urea 17
1.3.8 Proses Pembuatan Pupuk NPK 18
1.3.9 Pemilihan Proses 24
1.3.10 Kegunaan Produk 25
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika 26
1.4.1 Tinjauan Termodinamika 26
1.4.2. Tinjauan Kinetika 33
BAB II. PERANCANGAN PRODUK 39
2.1 Spesifikasi Produk 39
2.1.1 Pupuk NPK 39
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung 40
2.2.1 Green Ammonia 40
2.2.2 Asam Sulfat 41
2.2.3 Asam Fosfat 42
2.2.4 Kalium Klorida 43
2.2.5 Ammonium Sulfat 44
2.2.6 Urea 45
2.3 Pengendalian Kualitas 46

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku 46
2.3.2 Pengendalian Proses Produksi 48
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk 51
BAB III. PERANCANGAN PROSES 53
3.1 Diagram Alir Proses dan Material 53
3.1.1 Diagram Alir Kulaitatif 53
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif 54
3.2 Uraian Proses 55
3.2.1 Persiapan Bahan Baku 55
3.2.2 Pengumpulan dan Pencampuran Bahan Baku Cair (Proses Netralisasi) 57
3.2.3 Pengumpanan dan Pencampuran Bahan Baku Padat 58
3.2.4 Proses Granulasi 58
3.2.5 Pengeringan Produk 59
3.2.6 Pengayakan Produk 59
3.2.7 Pendinginan Produk 60
3.2.8 Pelapisan Produk 60
3.3 Spesifikasi Alat 61
3.3.1 Spesifikasi Alat Proses 61
3.3.2 Spesifikasi Alat Penukar Panas 67
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku dan Produk 71
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan 77
3.4 Neraca Massa 91
3.4.1 Neraca Massa Total 91
3.4.2 Neraca Massa Reaktor (R-01) 92
3.4.3 Neraca Massa Pug Mill (G-01) 92
3.4.4 Neraca Massa Granulator (G-02) 93
3.4.5 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-01) 94
3.4.6 Neraca Massa Screener (SC-01) 94
3.4.7 Neraca Massa Rotary Cooler (RC-01) 94
3.4.8 Neraca Massa Coating Drum (X-01) 95
3.4.9 Neraca Massa *Cyclone* (CY-01) 95
3.5 Neraca Panas 96
3.5.1 Neraca Panas Total 96
3.5.2 Neraca Panas Reaktor (R-01) 96
3.5.3 Neraca Panas *Pug Mill* (G-01) 97
3.5.4 Neraca Panas Granulator (G-02) 97
3.5.5 Neraca Panas *Rotary Dryer* (RD-01) 97
3.5.6 Neraca Panas *Screener* (SC-01) 98
3.5.7 Neraca Panas *Rotary Cooler* (RC-01) 98
3.5.8 Neraca Panas *Coating Drum* (X-01) 98
3.5.9 Neraca Panas *Cyclone* (CY-01) 98
3.5.10 Neraca Panas *Heater* 1 (HE-01) 99
3.5.11 Neraca Panas *Heater* 2 (HE-02) 99
3.5.12 Neraca Panas *Heater* 3 (HE-03) 99
BAB IV PERANCANGAN PABRIK 100

4.1 Lokasi Pabrik 100
4.1.1 Ketersediaan Bahan Baku 101
4.1.2 Keterjangkauan Pemasaran Produk 101
4.1.3 Utilitas dan Fasilitas Pendukung 101
4.1.4 Sarana Transportasi 102
4.1.5 Kondisi Geografis dan Sosial 103
4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*) 104
4.2.1 Daerah Administrasi dan Perkantoran 105
4.2.2 Daerah Proses 105
4.2.3 Daerah Instalasi dan Utilitas 105
4.2.4 Daerah Keamanan 105
4.2.5 Daerah Fasilitas Umum 105
4.2.6 Daerah Pengolahan Limbah 106
4.3 Tata Letak Mesin / Alat Proses (*Machines Layout*) 107
4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk 107
4.3.2 Aliran Udara 108
4.3.3 Pencahayaan 108
4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan 108
4.3.5 Maintenance 108
4.3.6 Jarak Antara Alat Proses 109
4.4 Struktur Organisasi 111
4.5 Tugas dan Wewenang 114
4.5.1 Pemegang Saham 114
4.5.2 Dewan Komisaris 114
4.5.3 Direktur Utama 115
4.5.4 Kepala Bagian 117
4.6 Pengaturan Jam Kerja 119
4.6.1 Karyawan *non-Shift* 119
4.6.2 Karyawan *Shift* 120
4.7 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji 122
4.7.1 Gaji Bulanan 122
4.7.2 Gaji Lembur 122
4.8 Fasilitas dan Hak Karyawan 124
BAB V UTILITAS 127
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air 129
5.1.1 Unit Penyediaan Air 129
5.1.2 Unit Pengolahan Air 134
5.2 Unit Pembangkit Steam (Steam Generation System) 140
5.3 Unit Pengolahan Pendingin 141
5.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*) 142
5.5 Unit Penyedia Udara tekan (*Instrument Air System*) 146
5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar 147
5.7 Unit Pengolahan Limbah 147
5.8 Spesifikasi Alat Utilitas 148
5.8.1 Alat Unit Pengolahan Air Bersih 148
5.8.2 Alat Pengolahan Air *Service* dan Air Domestik 150

5.8.3 Alat Unit Pengolahan Air Pendingin 151
5.8.4 Alat Unit Penyedia Steam 151
5.8.5 Alat Unit Udara Tekan 153
5.8.6 Alat Unit Penyedia Bahan Bakar 154
5.8.7 Generator 154
5.8.8 Pompa Utilitas 154
BAB VI EVALUASI EKONOMI 159
6.1 Penaksiran Harga Alat 161
6.2 Dasar Perhitungan 170
6.3. Komponen Biaya 170
6.3.1. Modal Capital (*Capital Investment*) 170
6.3.2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*) 172
6.3.3. Pengeluaran Umum (*General Expenses*) 174
6.4. Analisa Keuntungan 175
6.4.1. Harga Dasar 175
6.4.2. Harga Jual 175
6.4.3. Harga pendapatan 175
6.5. Analisa Risiko Pabrik 176
6.6. Analisa Kelayakan Ekonomi 180
6.6.1. Return on Invesment (ROI) 180
6.6.2. *Pay Out Time* (POT) 181
6.6.3. Break Even Point (BEP) 181
6.6.4. Shut Down Point (SDP) 183
6.6.5. Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) 183
6.6.6. Hasil Analisa 185
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN 188
7.1 Kesimpulan 188
7.2 Saran 189
DAFTAR PUSTAKA 190

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Pabrik Pupuk NPK yang Sudah Berdiri 3
Tabel 1. 2 Data Impor Pupuk NPK di Indonesia 4
Tabel 1. 3 Data Produksi Pupuk NPK di Indonesia 5
Tabel 1. 4 Data Ekspor Pupuk NPK di Indonesia 7
Tabel 1. 5 Tabel Data Konsumsi Pupuk NPK di Indonesia 8
Tabel 1. 6 Data Perusahaan Luar Negeri yang Memproduksi Green Ammonia .. 10
Tabel 1. 7 Data Perusahaan yang Memproduksi Asam Fosfat 10
Tabel 1. 8 Data Perusahaan yang Memproduksi Asam Sulfat 10
Tabel 1. 9 Data Perusahaan Luar Negeri yang Memproduksi KCl 11
Tabel 1. 10 Data Perusahaan yang Memproduksi Urea 11
Tabel 1. 11 Data Perusahaan yang Memproduksi ZA 11
Tabel 1. 12 Perbandingan Proses Produksi Pupuk NPK 24
Tabel 1. 13 Nilai ΔHf° Masing-Masing Komponen pada Suhu 298 K 27
Tabel 1. 14 Nilai Koefisien Regresi ΔHf° Masing Masing Komponen 28
Tabel 1. 15 Nilai ΔHf° Masing-Masing Komponen pada Suhu 388 K dan 353 K 28
Tabel 1. 16 ΔGf° Masing-Masing Komponen 30
Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor 1 61
Tabel 3. 2 Spesifikasi Reaktor 2 62
Tabel 3. 3 Spesifikasi Granulator 63
Tabel 3. 4 Spesifikasi *Pug Mill* 64
Tabel 3. 5 Spesifikasi *Rotary Dryer* 64
Tabel 3. 6 Spesifikasi *Screener* 65
Tabel 3. 7 Spesifikasi *Rotary Cooler* 65
Tabel 3. 8 Spesifikasi *Coating Drum* 66
Tabel 3. 9 Spesifikasi Cyclone 66
Tabel 3. 10 Spesifikasi Separator 67
Tabel 3. 11 Spesifikasi *Heater* 1 68
Tabel 3. 12 Spesifikasi *Heater* 2 68
Tabel 3. 13 Spesifikasi *Heater* 3 69
Tabel 3. 14 Spesifikasi *Cooler* 1 70
Tabel 3. 15 Spesifikasi Heater 4 71
Tabel 3. 16 Spesifikasi Silo Ammonium Sulfat 71
Tabel 3. 17 Spesifikasi Silo Urea 72
Tabel 3. 18 Spesifikasi Silo KCL 72
Tabel 3. 19 Spesifikasi Silo *Coating Powder* 73
Tabel 3. 20 Spesifikasi Silo Produk 74
Tabel 3. 21 Spesifikasi Tangki *Green Ammonia* 74
Tabel 3. 22 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat 75
Tabel 3. 23 Spesifikasi Tangki Asam Fosfat 76
Tabel 3. 24 Spesifikasi Tangki *Coating Oil* 76
Tabel 3. 25 Spesifikasi Pompa 1 77

Tabel 3. 26 Spesifikasi Pompa 2 78
Tabel 3. 27 Spesifikasi Pompa 3 78
Tabel 3. 28 Spesifikasi Pompa 4 79
Tabel 3. 29 Spesfikasi Pompa 5 80
Tabel 3. 30 Spesifikasi Pompa 6 81
Tabel 3. 31 Spesifikasi Pompa 7 81
Tabel 3. 32 Spesifikasi *Belt Conveyor* 1 82
Tabel 3. 33 Spesifikasi *Belt Conveyor* 2 83
Tabel 3. 34 Spesifikasi *Belt Conveyor* 3 83
Tabel 3. 35 Spesifikasi *Belt Conveyor* 4 83
Tabel 3. 36 Spesifikasi *Belt Conveyor* 5 84
Tabel 3. 37 Spesifikasi *Belt Conveyor* 6 84
Tabel 3. 38 Spesifikasi *Belt Conveyor* 7 85
Tabel 3. 39 Spesifikasi *Belt Conveyor* 8 85
Tabel 3. 40 Spesifikasi *Belt Conveyor* 9 85
Tabel 3. 41 Spesifikasi *Belt Conveyor* 10 86
Tabel 3. 42 Spesifikasi *Belt Conveyor* 11 86
Tabel 3. 43 Spesifikasi *Screw Conveyor* 1 87
Tabel 3. 44 Spesifikasi *Screw Conveyor* 2 87
Tabel 3. 45 Spesifikasi Blower 1 87
Tabel 3. 46 Spesifikasi Blower 2 88
Tabel 3. 47 Spesifikasi Blower 3 88
Tabel 3. 48 Spesifikasi Blower 4 88
Tabel 3. 49 Spesifikasi Blower 5 89
Tabel 3. 50 Spesifikasi Blower 6 89
Tabel 3. 51 Spesifikasi Bag Filter 1 89
Tabel 3. 52 Spesifikasi Bag Filter 2 90
Tabel 3. 53 Spesifikasi Bag Filter 3 90
Tabel 3. 54 Neraca Massa Total 91
Tabel 3. 55 Neraca Massa Separator 92
Tabel 3. 56 Neraca Massa Reaktor 1 92
Tabel 3. 57 Neraca Massa *Pug Mill* 93
Tabel 3. 58 Neraca Massa Granulator 93
Tabel 3. 59 Neraca Massa *Rotary Dryer* 94
Tabel 3. 60 Neraca Massa *Screener* 94
Tabel 3. 61 Neraca Massa *Rotary Cooler* 94
Tabel 3. 62 Neraca Massa *Coating Drum* 95
Tabel 3. 63 Neraca Massa *Cyclone* 95
Tabel 3. 64 Neraca Panas Total 96
Tabel 3. 65 Neraca Panas Reaktor 96
Tabel 3. 66 Neraca Panas *Pug Mill* 97
Tabel 3. 67 Neraca Panas Granulator 97
Tabel 3. 68 Neraca Panas *Rotary Dryer* 97

Tabel 3. 69 Neraca Panas *Screener* 98
Tabel 3. 70 Neraca Panas *Rotary Cooler* 98
Tabel 3. 71 Neraca *Coating Drum* 98
Tabel 3. 72 Neraca Panas *Cyclone* 98
Tabel 3. 73 Neraca Panas *Heater* 1 99
Tabel 3. 74 Neraca Panas *Heater* 2 99
Tabel 3. 75 Neraca Panas *Heater* 3 99
Tabel 4. 1 Rincian Luas Bangunan dan Tanah 106
Tabel 4. 2 Rincian Jam Kerja 120
Tabel 4. 3 Rincian Jam Kerja Masing-masing *Shift* 120
Tabel 4. 4 Jadwal Jam Kerja 121
Tabel 4. 5 Jadwal Jam Kerja (Lanjutan) 121
Tabel 4. 6 Jumlah Tenaga Kerja dan sistem Penggajian 122
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin 132
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air *Steam* 133
Tabel 5. 3 Kebutuhan Listrik Alat Proses 142
Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas 143
Tabel 5. 5 Spesifikasi *Screening* Utilitas 148
Tabel 5. 6 Spesifikasi Bak Pengolahan Air 148
Tabel 5. 7 Spesifikasi Tangki Pengolahan Air 148
Tabel 5. 8 Spesifikasi Tangki Flokulator 149
Tabel 5. 9 Spesifikasi *Sand Filter* 149
Tabel 5. 10 Spesifikasi *Carbon Filter* 149
Tabel 5. 11 Spesifikasi *Klarifier* 150
Tabel 5. 12 Spesifikasi Tangki Air *Service* dan Air Domestik 150
Tabel 5. 13 Spesifikasi Tangki Klorinasi 150
Tabel 5. 14 Spesifikasi Bak Pengolahan Air Pendingin 151
Tabel 5. 15 Spesifikasi *Cooling Tower* 151
Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki Pengolahan *Steam* 151
Tabel 5. 17 Spesifikasi *Kation Exchanger* 152
Tabel 5. 18 Spesifikasi *Anion Exchanger* 152
Tabel 5. 19 Spesifikasi Deaerator 152
Tabel 5. 20 Spesifikasi *Boiler* 153
Tabel 5. 21 Spesifikasi Turbin 153
Tabel 5. 22 Spesifikasi Kompresor 153
Tabel 5. 23 Spesifikasi Tangki *Silica Gel* 153
Tabel 5. 24 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar 154
Tabel 5. 25 Spesifikasi Generator 154
Tabel 5. 26 Spesifikasi Pompa Utilitas 154
Tabel 5. 27 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan) 155
Tabel 5. 28 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan) 156
Tabel 5. 29 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan) 156
Tabel 5. 30 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan) 157

Tabel 5. 31 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)..... 158
Tabel 6. 1 Indeks harga alat pada tahun 1993 – 2030..... 162
Tabel 6. 2 Harga Alat Proses..... 165
Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas 167
Tabel 6. 4 *Physical Plant* (PPC) 170
Tabel 6. 5 *Direct Plant Cost* (DPC)..... 171
Tabel 6. 6 *Fixed Capital Investment* (FCI) 171
Tabel 6. 7 *Working Capital Investment*..... 172
Tabel 6. 8 *Total Capital Investment*..... 172
Tabel 6. 9 *Direct Manufacturing Cost* 172
Tabel 6. 10 *Indirect Manufacturing Cost*..... 173
Tabel 6. 11 *Fixed Manufacturing Cost* 173
Tabel 6. 12 *Fixed Manufacturing Cost* 174
Tabel 6. 13 *General Expenses*..... 174
Tabel 6. 14 Total Biaya Produksi..... 174
Tabel 6. 15 Analisa Risiko Pabrik..... 177
Tabel 6. 16 *Annual Fixed Manufacturing Cost* (Fa)..... 182
Tabel 6. 17 *Annual Variable Cost* (Va) 182
Tabel 6. 18 *Annual Regulated Expenses* (Ra)..... 182
Tabel 6. 19 Kesimpulan Analisa Kelayakan Ekonomi 187

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Struktur Molekul Amonia 13
Gambar 1. 2 Struktur Molekul Asam Sulfat 14
Gambar 1. 3 Struktur Molekul Asam Fosfat 15
Gambar 1. 4 Struktur Molekul Kalium Klorida 16
Gambar 1. 5 Struktur Molekul Amonium Sulfat 17
Gambar 1. 6 Struktur Molekul Urea 18
Gambar 1. 7 Proses Produksi Pupuk NPK menggunakan metode Nitrophosphate Route 20
Gambar 1. 8 Proses Produksi Pupuk NPK menggunakan metode *Mixed Acid Route* 22
Gambar 1. 9 Proses Produksi Pupuk NPK menggunakan metode Bulk Blending 23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif 53
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif 54
Gambar 4. 1 Perencanaan Lokasi Pabrik Pupuk NPK 100
Gambar 4. 2 Layout Pabrik Pupuk NPK 107
Gambar 4. 3 *Layout* Alat Proses Pabrik Pupuk NPK 110
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan Pabrik Pupuk NPK 113
Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas Unit Pengolahan Air 128
Gambar 6. 1 Grafik Regresi Linear Kenaikan *Index* 164
Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi 185

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR 195
LAMPIRAN B PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD) 230
LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN 232

DAFTAR LAMBANG

Q	: Kebutuhan Kalor, kJ/jam	x	: Konversi, %
ID	: *Inside Diameter*, in	t	: Waktu, jam
OD	: *Outside Diameter*, in	th	: Tebal *Head*, in
ΔGf°	: Energi Bebas Gibbs, kJ/mol	ts	: Tebal *Shell*, in
T	: *Temperature*, ˚C	E	: Efisiensi Pengelasan
P	: Tekanan, atm	f	: *Allowable Stress*
Sg	: *Spesific Gravity*	H	: Tinggi
Re	: Bilangan *Reynold*	m	: Massa, kg
ρ	: Densitas, kg/m^3	D	: Diameter
μ	: Viskositas, cP	C	: *Corrosion Allowable*
Cp	: Kapasitas Panas, kJ/kg.K	r	: Jari Jari, in
ΔHR	: Panas Reaksi Standar, kJ/kmol		
V	: Volume, m^3		
L	: Panjang, m		
ω	: *Acentric Factor*		
ΔHf°	: Panas Pembentukan Standar, kJ/mol		
UC	: *Clean Overall Coefficient*, Btu/hr.ft^2.F		
icr	: Jari Jari Sudut Dalam, in		
LMTD	: *Long Mean Temperature*		
Different, Rd	: *Dirt Factor*		
ΔP	: *Pessure Drop*, psi		
k_b	: Konstanta *Boltzman*		

ABSTRAK

NPK merupakan salah satu jenis pupuk anorganik yang memiliki jenis majemuk karena mengandung beberapa unsur yang dibutuhkan oleh tanaman diantaranya adalah nitrogen, *phosfor*, dan kalium. Pabrik pupuk NPK ini dirancang untuk mendukung program ketahanan pangan nasional serta memenuhi kebutuhan pasar domestik yang terus meningkat. Pabrik ini direncanakan berdiri pada tahun 2030 di Bungah, Gresik, dengan kapasitas produksi 130.000 ton/tahun. Pabrik dirancang untuk beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari dengan melibatkan 189 karyawan diatas 60.788,42 m^2. Proses produksi menggunakan metode *mixed acid route* yang terdiri dari dua tahap utama. Tahap pertama adalah netralisasi asam dan amoniak di dalam reaktor *Contionuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) pada 115°C dan 1 atm. Tahap kedua adalah granulasi di dalam granulator pada 88°C dan 1 atm dengan mencampurkan hasil reaktor, bahan baku padat dari *pug mill* serta injeksi *green ammonia* via *sparger*. Untuk mencapai kapasitas tersebut dibutuhkan bahan baku berupa *green ammonia* 1.344,94 kg/jam, asam sulfat 2.914,41 kg/jam, asam fosfat 3.799,87 kg/jam, urea 2.871,55 kg/jam, kcl 2.885,84 kg/jam, ZA padat 1.885,84 kg/jam, *coating oil* 10,10 kg/jam, dan *coating powder* 11,02 kg/jam. Total kebutuhan utilitas mencapai 8.501,086 kg/jam. Analisis risiko menunjukan pabrik tergolong berisiko rendah. Berdasarkan evaluasi ekonomi, diperoleh nilai *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 20,66%, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 3,2 tahun, *Break Even Point* (BEP) sebesar 52,18%, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 15,15% dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 24,18%. Berdasarkan indikator tersebut, pabri pupuk NPK ini dinyatakan layak untuk didirikan.

Kata Kunci: pupuk NPK, *green ammonia*, netralisasi, Evaluasi Ekonomi

ABSTRACT

NPK is a type of compound inorganic fertilizer that contains several essential nutrients required by plants, including nitrogen, phosphorus, and potassium. This NPK fertilizer plant is designed to support the national food security program and meet the continuously increasing domestic market demand. The plant is planned to be established in 2030 in Bungah, Gresik, with a production capacity of 130,000 tons/year. It is designed to operate continuously for 330 days/year and 24 hours/day, employing 189 workers on a total land area of 60,473.23 m^2. The production process utilizes the mixed acid route method, which consists of two main stages. The first stage is the neutralization of acid and ammonia inside a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) at 115°C and 1 atm. The second stage is granulation inside a granulator at 80°C and 1 atm by mixing the reactor output with solid raw materials from the pug mill and injecting green ammonia via a sparger. To achieve this production capacity, the required raw materials include 1,344.94 kg/hour of green ammonia, 2,914.41 kg/hour of sulfuric acid, 3,799.87 kg/hour of phosphoric acid, 2,871.55 kg/ hour of urea, 2,885.84 kg/hour of KCl, 1,885.84 kg/hour of solid ZA, 10.10 kg/hour of coating oil, and 11.02 kg/hour of coating powder. The total utility requirement reaches 7,887.31 kg/hour. Risk analysis indicates that the plant is classified as low-risk. Based on the economic evaluation, the before-tax Return on Investment (ROI) is 20,669%, the before-tax Pay Out Time (POT) is 3,2 years, the Break Even Point (BEP) is 52,18%, the Shut Down Point (SDP) is 15,15%, and the Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) is 24,18%. Based on these indicators, this NPK fertilizer plant is declared feasible for establishment.

Keywords: *NPK fertilizer, green ammonia, neutralization, Economic Evaluation*

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah Negara agraris, yang terletak di Asia Tenggara dan beriklim tropis, menjadikan tanah di Indonesia menjadi sangat subur. Sumber daya alam beraneka ragam dan berlimpah. Di negara agraris, pertanian mempunyai peranan yang sangat penting selain menunjang pemenuhan kebutuhan pokok, selain itu pertanian berperan besar dalam mendongkrak sektor sosial, sektor perekonomian dan perdagangan. Sebagian besar pekerjaan mayoritas masyarakat Indonesia bekerja sebagai petani, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) menyebut bahwa jumlah penduduk yang bekerja per Agustus 2020 sebanyak 128,45 juta orang. Dari angka tersebut, terbanyak bekerja di sektor pertanian dengan 38,23 juta orang tenaga kerja atau sekitar 29,76% (Manaroinsong *et al.*, 2023).

Peranan sektor pertanian di Indonesia sangat penting dalam memberikan kontribusi untuk pembangunan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan petani. Sektor pertanian adalah sumber penghasil bahan kebutuhan pokok, sandang, papan, menyediakan lapangan kerja, memberikan sumbangan terhadap pendapatan nasional yang tinggi, dan memberikan devisa bagi negara. Pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan petani tergantung pada tingkat pendapatan petani dan keuntungan yang didapat dari sektor pertanian itu sendiri. Sektor pertanian merupakan andalan untuk meningkatkan kesejahteraan sebagian masyarakat Indonesia karena sebagian besar masyarakat Indonesia tinggal di pedesaan dan bekerja di sektor pertanian (Putri & Noor, 2018).

Untuk mendapatkan produksi yang optimal dan nilai gizi yang tinggi perlu adanya tindakan kultur teknik secara tepat terutama dalam pengolahan tanah yang baik, pemilihan bibit yang baik, penanaman, pengairan dan penyediaan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman seperti pemberian pupuk. Pemupukan dilakukan karena tanah tidak mampu menyediakan satu atau beberapa unsur hara untuk menjamin suatu tingkat produksi tertentu. Pupuk N, P, dan K adalah unsur hara makro yang esensial artinya unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak dan tidak dapat digantikan oleh unsur yang lainnya pada berbagai proses selama pertumbuhan tanaman. Nitrogen di dalam jaringan merupakan komponen penyusun dari berbagai senyawa esensial bagi tumbuhan misalnya asam-asam amino, protein dan enzim. Fosfor merupakan bagian yang esensial bagi berbagai gula fosfat yang berperan dalam reaksi gelap fotosintesis, respirasi dan berbagai proses metabolisme lainnya. Kalium berfungsi sebagai aktivator dari berbagai enzim yang esensial dalam reaksi-reaksi fotosintesis dan respirasi. Kalium juga sangat berperan dalam mengatur potensi osmotik sel. Kekurangan unsur ini akan mengakibatkan buah tumbuh tidak sempurna, kecil, mutunya jelek, hasilnya rendah dan tidak tahan lama (Dendi *et al.,* 2019).

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Dalam perancangan kapasitas pabrik Pupuk NPK ada beberapa pertimbangan adalah *supply* dan *demand. Supply* dipengaruhi oleh nilai kapasitas impor dan produksi sedangkan *demand* dipengaruhi oleh nilai ekspor dan konsumsi. Kapasitas dari pabrik pupuk NPK yang telah berdiri baik di Indonesia maupun di luar negeri dapat dilihat pada Tabel 1.1 dibawah ini.

Tabel 1. 1 Data Pabrik Pupuk NPK yang Sudah Berdiri

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
Pupuk Indonesia Group	Indonesia	4.520.000	https://www.pupuk-indonesia.com/
PT Petrokimia Gresik	Indonesia	2.000.000	https://petrokimia-gresik.com/?hl=en
PT SADP (Mahkota Pupuk)	Indonesia	1.200.000	https://pupukmahkota.co.id/
PT Pupuk Iskandar Muda	Indonesia	500.000	https://pim.co.id/
PT Pupuk Kalimantan Timur	Indonesia	350.000	https://www.pupukkaltim.com/id/home
PT Pupuk Sriwidjaja	Indonesia	300.000	https://pusri.co.id/
PT Pupuk Kujang	Indonesa	100.000	https://pupuk-kujang.co.id/
Engro Fertilizers	Pakistan	145.000	https://www.engrofertilizers.com/
Basant Agro Tech	India	145.000	https://www.basantagro.com/
Shree Pushkar	India	145.000	https://www.shreepushkar.com/
Yichang Phosphate Chemical Company	China	100.000	http://www.phosphatefertilizer.com/about.asp?class01=CONTACT%20US
JSC NIUIF	Rusia	100.000	https://www.phosagro.com/about/holding_niuif/

Kapasitas produksi pabrik Pupuk NPK yang akan dibangun pada tahun 2030 dihitung menggunakan pertumbuhan rata-rata tahunan metode geometri dengan rumus berikut yang dikemukakan oleh *Carl Friedrich Gauss* dikutip dalam buku *Basic Econometrics* (Gujarati & Porter, 2009):

a. Pertumbuhan Rata - Rata per Tahun

$$i = \frac{\Sigma\%P}{n} \tag{1.1}$$

b. Prediksi Data Produksi, Konsumsi, Ekspor dan Impor

$$m_{tahun\ yang\ dicari} = m_{tahun\ terakhir} \times (1+i)^{a} \tag{1.2}$$

c. Peluang Kapasitas Produksi

$$m_{2030} = (m_{k\ 2030} + m_{e\ 2030}) - (m_{p\ 2030} + m_{i\ 2030}) \quad (1.3)$$

Dimana:

I : Pertumbuhan rata-rata per tahun

%P : Persen pertumbuhan per tahun

n : Jumlah data %P

a : Selisih tahun

m : Peluang kapasitas

m_p : Prediksi data produksi

m_k : Prediksi data konsumsi

m_e : Prediksi data ekspor

m_i : Prediksi data impor

Berikut merupakan data-data pendukung yang digunakan untuk menentukan kapasitas produksi Pupuk NPK.

1.2.1 Supply

Supply merupakan jumlah barang atau jasa yang mampu diproduksi dan dijual oleh produsen pada berbagai tingkat harga dalam suatu periode waktu tertentu.

a. Impor

Berikut merupakan data impor Pupuk NPK pada Tahun 2018-2024:

Tabel 1. 2 Data Impor Pupuk NPK di Indonesia

No.	Tahun	Impor (Ton)	Pertumbuhan (%)
1	2018	27.728,29	0
2	2019	36.985,64	0,25

No.	Tahun	Impor (Ton)	Pertumbuhan (%)
3	2020	97.756,66	0,62
4	2021	49.146,19	-0,99
5	2022	12.870,44	-2,82
6	2023	48.815,01	0,74
7	2024	27.558,66	-0,77
Rata-rata			-0,42

Berdasarkan data Tabel 1.2, diperoleh rata-rata pertumbuhan impor Pupuk NPK dalam 7 tahun terakhir. Oleh karena itu, jumlah Impor pupuk NPK pada tahun 2030 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Pertumbuhan rata - rata per tahun (i)

$$i = \frac{\Sigma\%P}{n} = \frac{-2{,}97}{7} = -0{,}42\%$$

Prediksi data impor tahun 2030 (m_i 2030)

$$m_{i\,2030} = m_{i\,2024} \times (1+i)^a$$

$$m_{i\,2030} = 27.558{,}66 \times (1-(-0{,}42))^{(2030-2024)} = 1.002{,}49\ Ton/Tahun$$

b. Produksi

Adapun kapasitas produksi Pupuk NPK tertera pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. 3 Data Produksi Pupuk NPK di Indonesia

No.	Tahun	Produksi (Ton)	Pertumbuhan (%)
1	2018	3.159.966	0
2	2019	2.923.452	-0,08
3	2020	3.023.235	0,03

No.	Tahun	Produksi (Ton)	Pertumbuhan (%)
4	2021	3.169.211	0,05
5	2022	3.424.685	0,07
6	2023	3.134.663	-0,09
7	2024	3.900.000	0,20
Rata-rata			0,03

Berdasarkan data Tabel 1.3, diperoleh rata-rata pertumbuhan produksi Pupuk NPK dalam 7 tahun terakhir. Oleh karena itu, jumlah Produksi pupuk NPK pada tahun 2030 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Pertumbuhan rata - rata per tahun (i)

$$i = \frac{\Sigma\%P}{n} = \frac{0{,}18}{7} = 0{,}03\%$$

Prediksi data produksi tahun 2030 (m_p 2030)

$$m_{p\,2030} = m_{p\,2024} \times (1+i)^a$$

$$m_{p\,2030} = 3.900.000 \times (1-0{,}03)^{(2030-2024)} = 4.528.408\ Ton/Tahun$$

Dari hasil perhitungan perkiraan produksi dan impor pupuk NPK di Indonesia, maka diperoleh nilai *supply* pupuk NPK di Indonesia adalah:

$$Supply = m_{i\,2030} + m_{p\,2030}$$

$$Supply = (1.002{,}49 + 4.528.408)\ Ton/Tahun$$

$$Supply = 4.529.410{,}53\ Ton/Tahun$$

1.2.2 Demand

Demand adalah kebutuhan dan keinginan pasar terhadap produk atau jasa yang dihasilkan pada berbagai tingkat harga dan periode waktu tertentu.

a. Ekspor

Berikut merupakan data ekspor Pupuk NPK pada Tahun 2019-2024:

Tabel 1. 4 Data Ekspor Pupuk NPK di Indonesia

No.	Tahun	Produksi (Ton)	Pertumbuhan (%)
1	2018	481	0
2	2019	499,7	0,04
3	2020	432,01	-0,16
4	2021	719,5	0,40
5	2022	568,15	-0,27
6	2023	250.568,96	1,00
7	2024	58.312,58	-3,30
Rata-rata			-0,33

Berdasarkan data Tabel 1.4, diperoleh rata-rata pertumbuhan ekspor Pupuk NPK dalam 7 tahun terakhir. Oleh karena itu, jumlah ekspor pupuk NPK pada tahun 2030 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Pertumbuhan rata - rata per tahun (i)

$$i = \frac{\Sigma\%P}{n} = \frac{-2,29}{7} = -0,33\%$$

Prediksi data ekspor tahun 2030 (m_e 2030)

$$m_{e\ 2030} = m_{e\ 2024} \times (1 + i)^a$$

$$m_{e\ 2030} = 58.312,58 \times (1 - (-0,33))^{(2030-2024)} = 5.443,37\ Ton/Tahun$$

b. Konsumsi

Adapun total kebutuhan Pupuk NPK sebagai bahan baku untuk proses produksi di Indonesia seperti tabel berikut:

Tabel 1. 5 Tabel Data Konsumsi Pupuk NPK di Indonesia

No.	Tahun	Konsumsi (Ton)	Pertumbuhan (%)
1	2018	2.802.246	0
2	2019	3.088.176	0,09
3	2020	3.159.311	0,02
4	2021	3.301.208	0,04
5	2022	3.257.054	-0,01
6	2023	3.658.745	0,11
7	2024	3.712.000	0,01
Rata-rata			0,04

Berdasarkan data Tabel 1.5, diperoleh rata-rata pertumbuhan konsumsi pupuk NPK dalam 7 tahun terakhir. Oleh karena itu, jumlah konsumsi pupuk NPK pada tahun 2030 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Pertumbuhan rata - rata per tahun (i)

$$i = \frac{\Sigma\%P}{n} = \frac{0{,}27}{7} = 0{,}04\%$$

Prediksi data konsumsi tahun 2030 (m_k 2030)

$$m_{k\,2030} = m_{k\,2024} \times (1+i)^a$$

$$m_{k\,2030} = 3.712.000 \times (1-0{,}04)^{(2030-2024)} = 4.653.166{,}19\ Ton/Tahun$$

Dari hasil perhitungan perkiraan konsumsi dan ekspor pupuk NPK di Indonesia, maka diperoleh nilai *demand* pupuk NPK di Indonesia adalah:

$$Demand = m_{e\,2030} + m_{k\,2030}$$

$$Demand = (5.443{,}37 + 4.653.166{,}19)\ Ton/Tahun$$

$Demand = 4.658.609\ Ton/Tahun$

Dari hasil perkiraan kebutuhan produksi, impor, ekspor dan konsumsi etilen pada tahun 2030, peluang pasar untuk pupuk NPK dapat ditentukan mengacu pada data sebagai berikut:

$Peluang = Demand - Supply$

$Peluang = (4.658.609 - 4.529.410{,}53)\ Ton/Tahun$

$Peluang = 129.199\ Ton/Tahun$

Dengan mempertimbangkan pabrik yang sudah berdiri serta data peluang yang telah dihitung sebelumnya maka dengan demikian pemilihan kapasitas pabrik pupuk NPK dari *green ammnomia* yaitu sebesar 130.000 Ton/Tahun.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Dalam prarancangan pabrik pupuk NPK, ketersediaan bahan baku menjadi faktor krusial yang harus diperhatikan untuk memastikan kelancaran proses produksi. Bahan baku utama untuk pembuatan pupuk NPK yaitu *green ammonia,* asam fosfat, asam sulfat, urea, ZA, KCl. Pabrik pemasok bahan baku yang digunakan dalam perancangan ini meliputi PT Petrokimia Gresik sebagai pemasok urea, asam sulfat, asam fosfat, dan ZA. Adapun bahan baku KCl direncanakan akan diimpor dari Nutrien Ltd. yang berlokasi di Kanada, sedangkan bahan baku *green ammonia* akan diimpor dari Envision yang berlokasi di China.

Berikut tinjauan ketersediaan bahan baku sebagai faktor pendukung pembuatan pabrik pupuk NPK:

a. Green Amonia (NH_3)

Tabel 1. 6 Data Perusahaan Luar Negeri yang Memproduksi Green Ammonia

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
Envision	China	320.000	https://www.envision-group.com/
Yara International – Porsgrunn Plant	Norwegia	500.000	https://www.yara.com/
OCI HyFuels	Amerika Serikat	365.000	https://www.basantagro.com/ https://oci-global.com/news-stories/tag/oci-hyfuels/

b. Asam Fosfat (H_3PO_4)

Tabel 1. 7 Data Perusahaan yang Memproduksi Asam Fosfat

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
PT Petrokimia Gresik (III)	Indonesia	400.000	https://petrokimia-gresik.com/?hl=en
PT Petro Jordan Abadi	Indonesia	200.000	https://pja-gresik.com/
Jordan Phosphate Mines Co.	Yordania	1.500.000	https://www.jpmc.com.jo/en/about-us
OCP Group	Maroko	3.000.000	https://www.ocpgroup.ma/about-us

c. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Tabel 1. 8 Data Perusahaan yang Memproduksi Asam Sulfat

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
PT Petrokimia Gresik (III)	Jawa Timur	2.170.000	https://petrokimia-gresik.com/?hl=en
PT Petro Jordan Abadi	Jawa Timur	600.000	https://pja-gresik.com/
PT Pupuk Kaltim	Kalimantan Timur	600.000	https://www.pupukkaltim.com/id/home
PT Pupuk Sriwidjaja	Sumatera Selatan	800.000	https://pusri.co.id/

d. Kalium Klorida (KCl)

Tabel 1. 9 Data Perusahaan Luar Negeri yang Memproduksi KCl

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
Nutrien Ltd	Kanada	20.000.000	https://www.nutrien.com/
Belarusian Potash Company (BPC)	Belarus	10.000.000	http://www.belpc.by/
Uralkali	Rusia	12.000.000	https://www.uralkali.com/

e. Urea (CH_4N_2O)

Tabel 1. 10 Data Perusahaan yang Memproduksi Urea

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
PT Petrokimia Gresik (I)	Jawa Timur	460.000	https://petrokimia-gresik.com/?hl=en
PT Pupuk Kujang (1A & 1B)	Jawa Barat	1.140.000	https://pupuk-kujang.co.id/
PT Pupuk Kaltim (1-5 & 1A)	Kalimantan Timur	3.550.000	https://www.pupukkaltim.com/id/home
PT Pupuk Iskandar Muda (1 & 2)	Aceh	1.140.000	https://pim.co.id/
PT Pupuk Sriwidjaja (I & II)	Sumatra Selatan	1.270.000	https://pusri.co.id/

f. Amonium Sulfat (ZA)

Tabel 1. 11 Data Perusahaan yang Memproduksi ZA

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Sumber
PT Petrokimia Gresik	Indonesia	750.000	https://petrokimia-gresik.com/?hl=en
Sinopec	China	9.000.000	http://www.sinopecgroup.com/group/en/
China National Chemical Corp	China	2.000.000	https://www.chemchina.com/zghgen/index.html
AdvanSix	Amerika Serikat	2.000.000	https://www.advansix.com/
Yara International – Porsgrunn Plant	Norwegia	500.000	https://www.yara.com/

Dengan mempertimbangkan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi serta ketersediaan pabrik bahan baku yang mendukung proses produksi, maka pemilihan kapasitas pabrik pupuk NPK dari bahan baku *green* amona ditetapkan.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Pupuk NPK

Pupuk NPK (Nitrogen, *Phospate* & Kalium) merupakan pupuk majemuk yang mengandung unsur hara makro primer N, P, dan K yang sangat dibutuhkan tanaman serta dapat ditambah unsur lain, seperti Ca, Mg, dan unsur mikro Cu, Zn, Mn, dan lain-lain. Kandungan unsur hara N, P, dan K dalam pupuk NPK sangat bervariasi. Sebagai contoh, pupuk NPK 20-12-12 mengandung 20% N, 10% P_2O_5, dan % K_2O. Pada umumnya pupuk NPK berbentuk granul dengan warna bervariasi dari abu-abu, merah, biru, hijau, atau cokelat (Widiowati *et al.*, 2022).

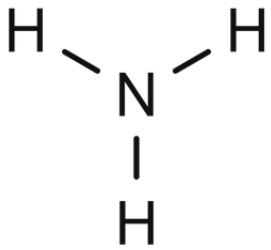
Beberapa keuntungan penggunaan pupuk majemuk (NPK) adalah dapat digunakan dengan memperhitungkan kandungan unsur hara, seperti pada pupuk tunggal, dapat menggantikan pupuk tunggal jika tidak tersedia, cara penggunaannya sangat praktis, dan pengangkutan serta penyimpanannya lebih efisien dalam hal waktu, ruang, dan biaya (Salim *et al.,* 2025).

1.3.2 Green Ammonia

Salah satu gas yang berperan dalam menimbulkan pencemaran udara adalah gas amonia. Gas amonia adalah gas yang tidak berwarna dengan bau menyengat, biasanya amonia berasal dari aktifitas mikroba, industri amonia, pengolahan limbah dan pengolahan batubara. Amonia di atmosfer akan bereaksi dengan nitrat dan

sulfat sehingga terbentuk garam amonium yang sangat korosif (Nugroho *et al*, 2021).

Green ammonia adalah amonia (NH_3) yang diproduksi menggunakan hidrogen hijau yang diperoleh dari elektrolisis air dengan sumber listrik terbarukan dan nitrogen yang diperoleh dari udara, sehingga proses produksinya tidak memproduksi emisi karbon pada tahap reaksi utama. Produk ini dianggap sebagai alternatif ramah lingkungan terhadap ammonia konvensional yang bergantung pada bahan bakar fosil (Salmon & Alcantara, 2021).



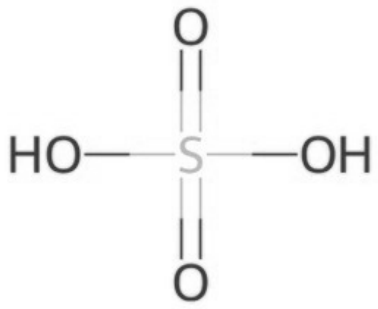
Gambar 1. 1 Struktur Molekul Amonia

1.3.3 Asam Sulfat

Larutan asam sulfat (H_2SO_4) merupakan salah satu larutan kimia yang banyak digunakan di industri. Sifat korosif pada larutan tersebut dapat membahayakan lingkungan sekitarnya. Salah satu bahaya larutan asam sulfat jika terpapar kulit manusia akan menyebabkan efek luka bakar yang cukup serius. Bahaya yang dihasilkan oleh penggunaan asam sulfat seminimalisir mungkin perlu dikendalikan sehingga operasional industri dapat berjalan dengan seharusnya. Larutan asam sulfat (H_2SO_4) sering dimanfaatkan di industri sebagai pemanfaatan

untuk pembuatan pupuk tanaman, plat timah, pewarna tekstil dan pengolahan minyak (Wiratama & Tritjahjono, 2021).

Dalam proses pembuatan pupuk NPK menggunakan metode *mixed acid route*, asam sulfat (H_2SO_4) berperan sebagai salah satu reagen utama yang berfungsi untuk menetralkan amonia cair (NH_3) pada tahap awal reaksi di dalam reaktor *pre-neutralizer*. Reaksi netralisasi antara asam sulfat dan amonia menghasilkan *slurry* amonium sulfat atau ZA ($(NH_4)_2SO_4$) yang berfungsi sebagai sumber unsur sulfur (S) bagi tanaman sekaligus sebagai komponen penting dalam pembentukan butiran pupuk NPK. Proses ini berlangsung simultan dengan reaksi netralisasi asam fosfat (H_3PO_4) oleh amonia yang membentuk *slurry* monoamonium fosfat atau MAP ($(NH_4)_2H_2PO_4$) (Nahara *et al*., 2021).



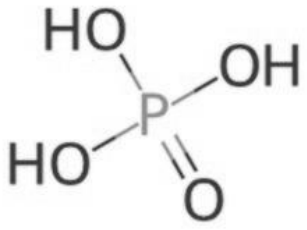
Gambar 1. 2 Struktur Molekul Asam Sulfat

1.3.4 Asam Fosfat

Asam fosfat merupakan suatu senyawa asam lemah dengan rumus molekul H_3PO_4. Asam fosfat memiliki titik didih 213 °C dan titik lebur 42,35 °C dan massa molar 98 g/mol. Asam fosfat jika direaksikan dengan kalsium hidroksida akan

memiliki sifat reaksi asam basa dan akan menghasilkan garam kalsium fosfat (Hariyanto *et al.*, 2020).

Dalam proses pembuatan pupuk NPK, asam fosfat bertindak sebagai sumber P yang bereaksi dengan ammonia (NH_3) untuk membentuk MAP/DAP melalui reaksi netralisasi/penambahan amonia pada larutan asam fosfat (*slurry* MAP/DAP *technology*). Kualitas dan kemurnian asam fosfat secara langsung mempengaruhi mutu produk pupuk dan pengolahan limbah (phosphogypsum) dari proses *wet-acid*. Oleh karena itu, banyak penelitian dan pengembangan difokuskan pada peningkatan proses produksi asam fosfat, serta integrasi daur ulang dan penurunan jejak lingkungan untuk memastikan asam fosfat yang dipakai dalam pembuatan NPK memenuhi standar industri pupuk (Jurayev *et al*., 2024).



Gambar 1. 3 Struktur Molekul Asam Fosfat

1.3.5 Kalium Klorida

Kalium klorida (KCl) merupakan senyawa anorganik berbentuk padatan kristalin berwarna putih dan tidak berbau. Berdasarkan *Material Safety Data Sheet (MSDS)* dari Merck KGaA (2025), KCl memiliki titik lebur sebesar 770 °C dan titik didih 1.413 °C pada 1.013 hPa. Senyawa ini tergolong tidak mudah menyala, stabil pada suhu ruang, serta tidak bersifat oksidator maupun eksplosif. Kerapatan

padatannya mencapai 1,98 g/cm³ pada 20 °C, sedangkan densitas curahnya berkisar 1.000 kg/m³.

KCl menyediakan ion K^+, yang dalam pupuk NPK diperlukan untuk unsur K (potassium). Ion K adalah makronutrien penting yang membantu regulasi air di tanaman, pembentukan protein, pembelahan sel, pengaturan osmotik, dan banyak fungsi fisiologis lain. Artikel-formulasi NPK biasanya menyebut KCl ditambahkan agar komposisi N:P:K sesuai spesifikasi.



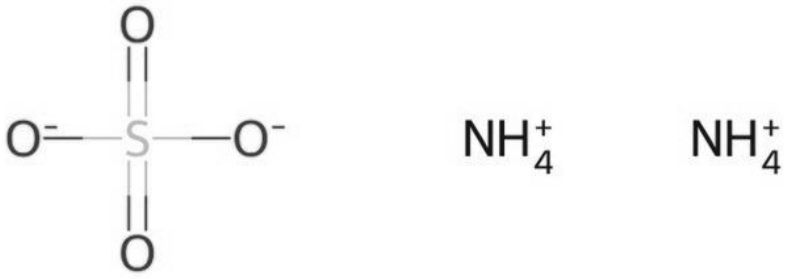
Gambar 1. 4 Struktur Molekul Kalium Klorida

1.3.6 Amonium Sulfat

Amonium sulfat $(NH_4)_2SO_4$ merupakan senyawa anorganik berbentuk padatan kristalin berwarna ungu**,** tidak berbau, dan tergolong tidak mudah terbakar. Berdasarkan *Material Safety Data Sheet (MSDS)* yang diterbitkan oleh *Merck KGaA* (2022), senyawa ini memiliki titik lebur 39–41 °C dan bersifat stabil pada kondisi suhu ruang. Amonium sulfat memiliki kelarutan dalam air sebesar ±482,2 g/L pada 20 °C dengan pH larutan sekitar 1 pada konsentrasi 482,2 g/L (25 °C)**,** menunjukkan karakter asam yang kuat akibat keberadaan ion sulfat. Densitas curahnya tercatat sekitar 750 kg/m³**,** sementara data tekanan uap, densitas absolut, dan viskositas belum tersedia.

Ion amonium (NH_4^+) yang terkandung di dalam amonium sulfat berperan sebagai sumber nitrogen yang mudah tersedia bagi tanaman, mendukung

pertumbuhan vegetatif, sintesis protein, dan pembentukan klorofil. Sementara itu, ion sulfat (SO_4^{2-}) menjadi sumber sulfur yang berfungsi dalam pembentukan asam amino esensial seperti sistein dan metionin, serta meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor dan mikronutrien di akar tanaman (Powlson *et al.*, 2022). Selain itu, pada proses granulasi, ammonium sulfat juga berperan sebagai *binder cair* yang membantu pembentukan granul pupuk, meningkatkan kekompakan dan stabilitas fisik produk akhir (Lukito *et al.*, 2023).

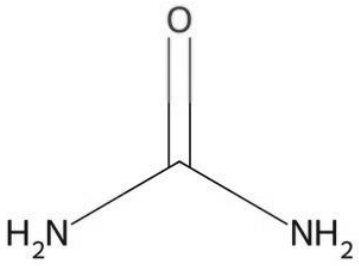


Gambar 1. 5 Struktur Molekul Amonium Sulfat

1.3.7 Urea

Urea atau karbonildiamida $(NH_2)_2CO$, merupakan senyawa anorganik berbentuk padatan kristalin berwarna putih dengan aroma ringan menyerupai amonia. Berdasarkan *Material Safety Data Sheet (MSDS)* yang diterbitkan oleh PT Pupuk Kalimantan Timur (2022), urea tersedia dalam bentuk granular dan prill dan mengandung nitrogen minimal 46% dengan kadar air maksimum 0,5% serta biuret 1,2–1,5%. Senyawa ini memiliki berat molekul 60,07 g/mol**,** densitas 1,34 g/cm³ pada 20 °C, dan kelarutan tinggi dalam air hingga 545 g/L pada 25 °C, menunjukkan sifat sangat larut serta higroskopis.

Urea digunakan sebagai sumber nitrogen utama dalam pembuatan pupuk NPK karena kandungan nitrogennya tinggi (±46%) dan mudah terurai menjadi amonia yang dapat bereaksi dengan asam untuk membentuk senyawa ammonium fosfat. Menurut Swify *et al.* (2023), penambahan urea efektif untuk meningkatkan kadar nitrogen total serta efisiensi pemanfaatan N dalam formulasi pupuk majemuk.



Gambar 1. 6 Struktur Molekul Urea

1.3.8 Proses Pembuatan Pupuk NPK

Proses produksi pupuk NPK dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

a. *Nitrophosphate Route*

Sumber fosfat harus dikonversi ke dalam bentuk yang dapat diambil oleh tanaman. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan proses terpadu "*Nitrophosphate Route*" yang menghasilkan pupuk majemuk yang mengandung amonium nitrat, fosfat dan garam kalium. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan nitrat dan senyawa pupuk mulai dari batuan fosfat dan menggunakan semua komponen nutrisi dalam proses yang terintegrasi tanpa limbah padat dan dengan emisi gas dan cair minimal. Proses "*nitrophosphate*" dimulai dengan peleburan batu fosfat dalam asam nitrat, dengan reaksi sebagai berikut:

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 10\ HNO_3 \rightarrow 3\ H_3PO_4 + 5\ Ca(NO_3)_2 + HF$$

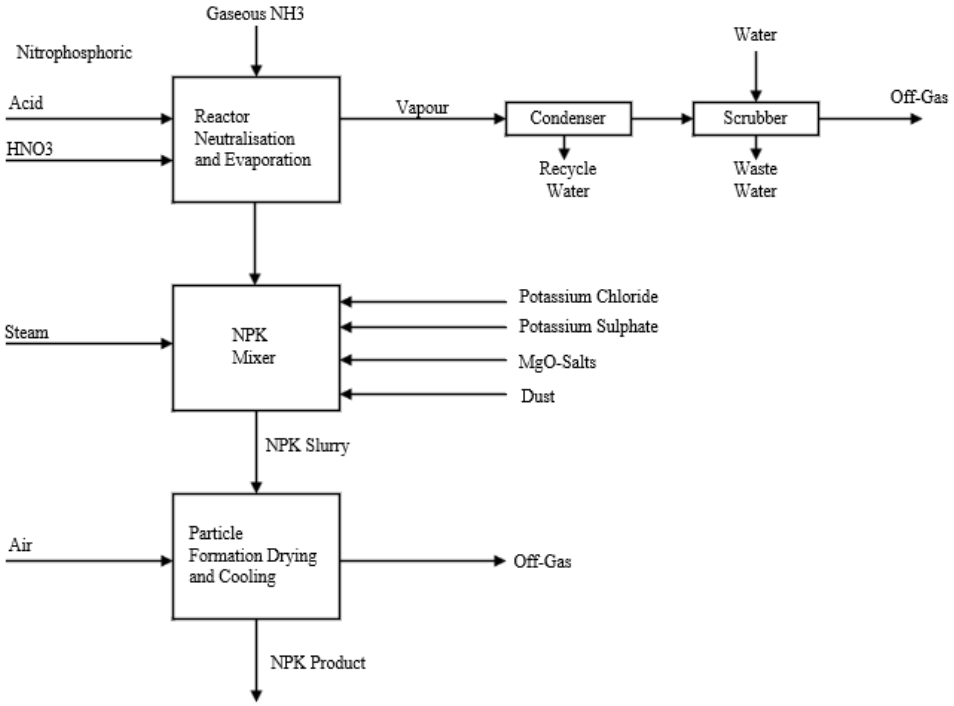
Berbagai senyawa volatil seperti karbon dioksida (CO_2), gas nitrous (NO_x) dan hidrogen fluorida (HF) dapat dilepaskan, tergantung pada batuan fosfat. Larutan induk yang diperoleh mengandung terlalu banyak ion kalsium untuk menjamin kebutuhan tanaman akan P_2O_5 tersedia. Karena itu larutan didinginkan sehingga *calcium nitrate tetrahydrate* (CNTH) menjadi kristal, dengan reaksi sebagai berikut:

$$H_3PO_4 + HNO_3 + Ca(NO_3)_2 + 4\ H_2O \rightarrow H_3PO_4 + HNO_3 + Ca(NO_3)_2 \,.\, 4\ H_2O \downarrow$$

Liquid asam fosfat, sisa kalsium nitrat dan asam nitrat, yang disebut asam *nitrophosphoric*, dapat dipisahkan dari kristal CNTH dengan penyaringan. Asam *nitrophosphoric* kemudian dinetralkan dengan amonia, dicampur dengan garam kalium/ magnesium, sulfat dan/atau mikro-nutrisi dan dikonversi dalam *rotary granulation drum*, *fluidized bed*, *prilling tower* atau *pug- mill* untuk mendapatkan pupuk majemuk padat yang mengandung nitrat. Kristal kalsium nitrat dipisahkan dengan dilarutkan dalam amonium nitrat dan amonium karbonat, seperti reaksi berikut:

$$Ca(NO_3)_2 + (NH_4)_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + 2\ NH_4NO_3$$

Liquid disaring dan kristal kalsium karbonat dikeluarkan dan digunakan untuk produksi kalsium granular pupuk ammonium nitrat. Larutan amonium nitrat yang dihasilkan dan juga digunakan untuk menghasilkan kalsium amonium pupuk nitrat atau NPK. *Liquid* kalsium nitrat juga dapat dinetralisir dan diuapkan untuk mendapatkan pupuk yang *solid* (EFMA, 2000). Berikut adalah proses dari *Nitrophosphate Route* yang dapat dilihat pada Gambar 1.7.



Gambar 1. 7 Proses Produksi Pupuk NPK menggunakan metode Nitrophosphate Route

b. *Mixed Acid Route*

Proses pembuatan pupuk NPK yang digunakan adalah proses kompleks yang menggabungkan proses pencampuran *(mixing)* dan pereaksian *(reaction).* Secara umum proses pembuatan pupuk NPK terdiri atas pemrosesan bahan padat dan bahan cair yang kemudian akan disatukan di dalam sebuah alat yang disebut *granulator.*

Bahan baku padat yang berupa urea, ZA, dan KCl diumpankan ke dalam *hopper* kecil kemudian dimasukkan ke granulator dan dicampur dengan *recycle product.* Sedangkan bahan baku cair yang berupa amoniak, asam sulfat dan asam fosfat direaksikan di *pre-neutralizer* yang menghasilkan *slurry* dengan berkisar suhu antara 115-125 ˚C dan kadar air mencapai 8-17%. Di dalam tangki ini asam

sulfat dan asam fosfat dinetralisasi dengan ammonia. Amoniak yang digunakan adalah amoniak cair agar volum pipa yang digunakan lebih kecil. Proses netralisasi ini berlangsung di dalam *pre-neutralizer tank* pada kondisi operasi temperatur 115-125˚C, tekanan 1 atm, kecepatan putaran 56 rpm dan pH 1-2 masing-masing membentuk *ammonium sulfat* (ZA cair) dan *monoammonium phosphate* (MAP) dan *diammonium phosphat* (DAP) dengan ratio N/P= 0,6-0,9. Reaksi yang terjadi di *Pre-Neutralizer*:

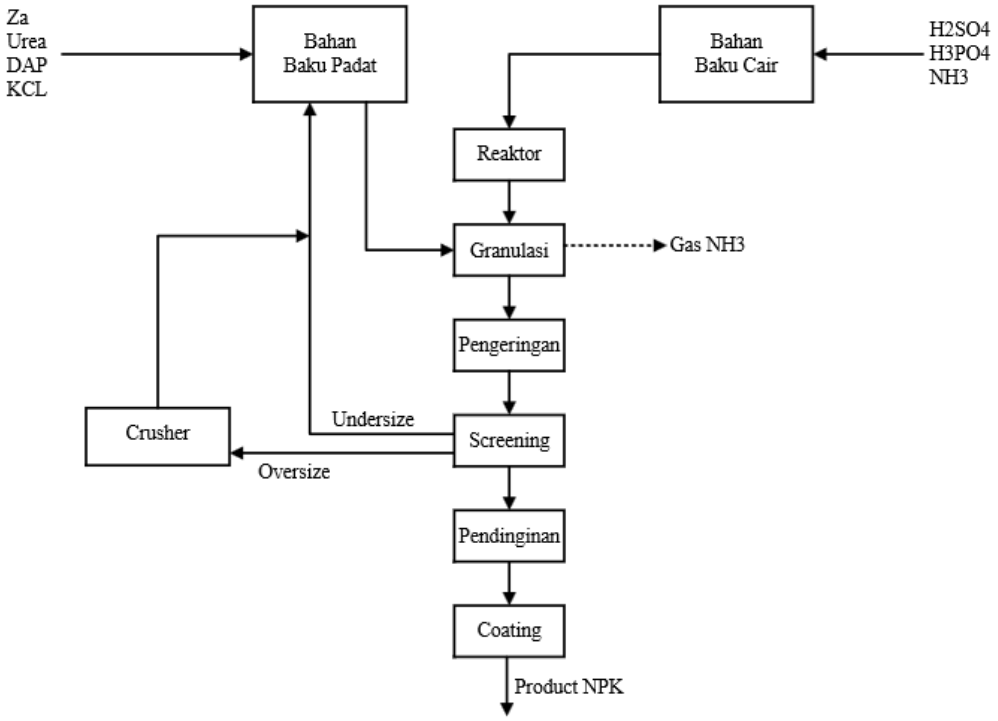
$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 \text{ (ZA cair)}$$

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4 \text{ (MAP)}$$

Untuk membuat NPK, semua bahan baku dan *recycle* diumpankan ke dalam granulator. Padatan yang keluar dari granulator memiliki kandungan kadar air normal 2-2,5 % dan diumpankan secara gravitasi ke dalam *dryer* untuk memperoleh kadar air yang diinginkan yaitu 1-1,5 %. Produk kering yang keluar dari dryer dimasukkan ke dalam *screen* untuk dipisahkan antara produk *under size*, *onsize* (4-10 mesh), dan *over size*. Reaksi yang terjadi di Granulator:

$$NH_3 + NH_4H_2PO_4 \rightarrow (NH_4)_2HPO_4 \text{ (DAP)}$$

Produk dengan ukuran *onsize* kemudian diumpankan ke *cooler drum* untuk menurunkan temperatur dengan menggunakan udara kering pendingin. Selanjutnya, produk dingin dikirim ke *coating rotary drum* untuk dilapisi dengan *Coating agent* karena produk bersifat higroskopis yang dapat mempercepat proses *caking*. Produk keluaran dari *coater* dikirim ke gudang penyimpanan akhir yang kemudian akan dikemas di *storage* (Phonska, 2000). Berikut adalah proses pembuatan pupuk NPK dengan *Mixed Acid Route:*



Gambar 1. 8 Proses Produksi Pupuk NPK menggunakan metode *Mixed Acid Route*

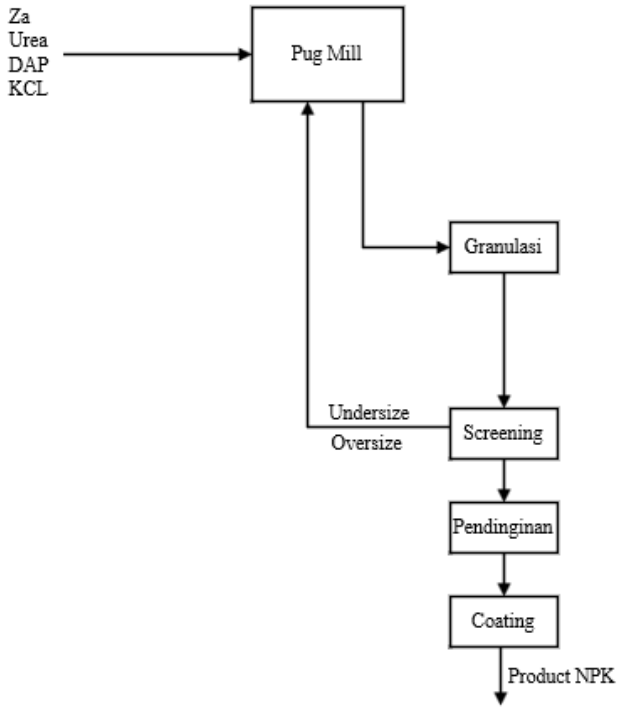
c. *Bulk Blending*

Proses *bulk blending* yaitu pencampuran butiran pupuk dalam keadaan kering secara mekanik. Bahan-bahanya berupa pupuk jadi dalam bentuk padatan yang terdiri dari urea, DAP, ZA, dan KCl. Karena bahan bakunya merupakan pupuk jadi, maka pada metode ini tidak ada reaksi yang terjadi sehingga tidak diperlukan adanya reaktor.

Secara garis besar proses pada metode *bulk blending* cukup sederhana dimulai dari penerimaan komponen bahan baku, pencampuran, granulasi, *screening*, dan *coating*. Bahan baku padat dilakukan penimbangan sesuai proporsi dan selanjutnya dicampur di dalam *pug mill*. Selanjutnya bahan yang sudah tercampurkan dialirkan menuju granulator untuk membentuk padatan halus

menjadi granul. Granula pupuk yang terbentuk akan menuju *screener*, memisahkan produk sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Granula *undersize* dan *oversize* dikembalikan ke *pug mill*. Proses terakhir adalah pelapisan granul pupuk oleh *coating agent.*

Dibandingkan metode lainnya, *bulk blending* merupakan metode yang paling sederhana. Pada metode ini secara garis besar adalah proses pencampuran dan tidak dibutuhkan reaksi kimia. Selain itu karena prosesnya tidak rumit, waktu produksinnya singkat karena tidak memerlukan banyak alat. Sehingga biaya investasi dari metode ini rendah. Kelemahan metode *Bulk Blending* adalah produk pupuk yang dihasilan kurang merata (homogen) mengingat bahan baku yang digunakan berbentuk solid dan berupa bahan baku.



Gambar 1. 9 Proses Produksi Pupuk NPK menggunakan metode *Bulk Blending*

1.3.9 Pemilihan Proses

Perbandingan Macam-Macam Proses Pembuatan Pupuk NPK:

Tabel 1. 12 Perbandingan Proses Produksi Pupuk NPK

Parameter	**Proses Pembuatan Pupuk NPK**		
	Nitrophosphate Route	***Mixed Acid Route***	***Bulk Blending***
Proses	Batuan fosfat dilarutkan dengan asam nitrat menghasilkan larutan fosfat-nitrat. Setelah pemisahan kalsium, larutan direaksikan dengan amonia dan KCl, kemudian dilakukan granulasi dan pengeringan.	Reaksi asam fosfat, asam sulfat, dan amonia menghasilkan campuran unsur N, P, S. Ditambah urea, KCl, dan ZA, lalu melalui tahap pencampuran, granulasi, dan pengeringan.	Urea, DAP, ZA, dan KCl dibentuk granul melalui granulasi, pengeringan, dan pendinginan.
Kondisi Operasi	Suhu: 150-180 °C Tekanan: 1,48 atm pH: 5	Suhu: 115-125 °C Tekanan: 1 atm pH: 5 – 8	Suhu: 60-98 °C Tekanan: 1 atm pH: 6-7
Bahan Baku	Batuan fosfat, Amonia, KCL, Asam nitrat, Urea	Amonia, Urea, Asam fosfat, KCl, Asam sulfat, Amonium sulfat (ZA)	Urea, DAP, ZA, dan KCl
Bahan Tambahan	Amonium sulfat, Urea, Mikronutrien (Zn, Mg, B, dll), *Coating oil & powder, Scrubbing agent*	*Coating oil & powder*	-
Kualitas Produk	NPK homogen, Stabilitas baik, Efisiensi hara tinggi	NPK homogen, Stabilitas baik, Efisiensi hara tinggi	NPK non-homogen, Stabilitas rendah,

			Efisiensi hara tinggi
Parameter	**Proses Pembuatan Pupuk NPK**		
	Nitrophosphate Route	***Mixed Acid Route***	***Bulk Blending***
Tingkat Korosif	Tinggi	Sedang	Rendah
Lingkungan	Limbah gas dan *liquid*	Limbah gas	Debu halus
Biaya Produksi	Tinggi	Sedang	Rendah

Berdasarkan perbandingan dari 3 proses pembuatan Pupuk NPK diatas, dipilih proses *Mixed Acid Route* dengan beberapa pertimbangan, yaitu:

1. Menghasilkan NPK yang homogen, stabil, dan efisiensi hara tinggi.
2. Biaya produksi relatif sedang maka dapat memberikan prospek keuntungan.
3. Kondisi operasi (suhu dan tekanan rendah), sehingga lebih aman dan hemat energi.
4. Dampak lingkungan lebih kecil, hanya menghasilkan gas buang tanpa limbah padat.

1.3.10 Kegunaan Produk

Pupuk majemuk merupakan pupuk campuran sintetis yang umumnya mengandung lebih dari satu macam unsur hara tanaman (makro maupun mikro) terutama N, P, dan K (Rosmarkam & Yuwono, 2002). Salah satu pupuk majemuk yang banyak digunakan adalah pupuk NPK. Kelebihan pupuk NPK yaitu dengan satu kali pemberian pupuk dapat menambahkan beberapa unsur hara sehingga lebih efisien dalam penggunaan bila dibandingkan dengan pupuk tunggal (Hardjowigeno, 2003). Penggunaan pupuk NPK diharapkan meningkatkan

kandungan unsur hara yang dibutuhkan di dalam tanah serta dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman.

Dalam kegunaannya di bidang pertanian pupuk NPK tergolong pupuk majemuk yang terdiri dari unsur hara Nitrogen, Fosfor, dan Kalium, pupuk ini dibutuhkan untuk pertumbuhan vegetatif pada tanaman, pertumbuhan akar dan tunas, bahkan pembungaan dan pembuahan. Pertumbuhan konsumsi pupuk NPK di bidang pertanian mendorong industri untuk menekan jumlah produksi hingga mencapai batas yang ditentukan, sehingga mampu mencukupi kebutuhan akan konsumsi pupuk NPK di bidang pertanian.

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

a. Panas Pembentukan Standar ($\Delta H_f°$)

Tinjauan termodinamika bertujuan untuk memahami sifat reaksi, apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis, serta apakah reaksi tersebut terjadi secara spontan atau tidak spontan, dan apakah reaksi tersebut dapat dibalik *(reversible)* atau tidak *(irreversible)*. Untuk menentukan reaksi bersifat eksotermis atau endotermis, dapat diketahui dengan perhitungan panas reaksi ($\Delta H_f°$) pada suhu 25°C (298 K) dengan tekanan 1 atm. Jika $\Delta H_f°$ bernilai negatif ($\Delta H_f° < 0$), maka reaksi bersifat eksotermis karena melepaskan panas ke lingkungan. Sebaliknya, jika $\Delta H_f°$ bernilai positif ($\Delta H_f° > 0$), maka reaksi bersifat endotermis karena menyerap panas dari lingkungan. Persamaan Reaksi:

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$$

$$NH_3 + NH_4H_2PO_4 \rightarrow (NH_4)_2HPO_4$$

Berdasarkan nilai ($\Delta H_f°$) dari masing-masing komponen, yang diperoleh dari Lange's (1972), hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.13 berikut:

Tabel 1. 13 Nilai ΔHf° Masing-Masing Komponen pada Suhu 298 K

Komponen	**$\Delta H_f°$ 298 K (kJ/mol)**
NH_3	-80,29
H_2SO_4	-909,27
$(NH_4)_2SO_4$	-1174,28
H_3PO_4	-1277,4
$NH_4H_2PO_4$	-1428,79
$(NH_4)_2HPO_4$	-1556,91

Sumber: (Yaws, 1999; Lange's, 1972)

Berdasarkan data diatas maka dapat dihitung panas pembentukan pada masing masing reaksi:

$$\Delta H°_{reaksi} = \Sigma \Delta H°_{f\ produk} - \Sigma \Delta H°_{f\ reaktan} \quad (1.4)$$

ΔH° persamaan reaksi 1

$$\Delta H°_{reaksi\ 1} = (\Delta H°_f\ (NH_4)_2SO_4) - ((2 \times \Delta H°_f NH_3) + \Delta H°_f\ H_2SO_4)$$

$$= (-1174{,}28\ kj/mol) - ((2 \times (-80{,}29\ kj/mol) + (-909{,}27\ kj/mol))$$

$$= -104{,}43 \frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

ΔH° persamaan reaksi 2

$$\Delta H°_{reaksi\ 2} = (\Delta H°_f\ NH_4H_2PO_4) - (\Delta H°_f NH_3) + \Delta H°_f\ H_3PO_4)$$

$$= \left(-1428{,}79 \frac{kj}{mol}\right) - \left(\left(-80{,}29 \frac{kj}{mol}\right) + \left(-1277{,}4 \frac{kj}{mol}\right)\right)$$

$$= -71{,}1 \frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

ΔH° persamaan reaksi 3

$$\Delta H°_{reaksi\ 3} = (\Delta H°_f\ (NH_4)_2HPO_4) - (\Delta H°_f NH_3) + \Delta H°_f\ NH_4H_2PO_4)$$

$$= \left(-1556{,}91 \frac{kj}{mol}\right) - \left(\left(-80{,}29 \frac{kj}{mol}\right) + \left(-1428{,}79 \frac{kj}{mol}\right)\right)$$

$$= -47{,}83 \frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

Tabel 1. 14 Nilai Koefisien Regresi ΔHf° Masing Masing Komponen

Komponen	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
NH_3	33,573	-1,2581E-02	8,8906E-05	-7,1783E-08	1,8569E-11
H_2SO_4	26,004	7,0337E-01	-1,3856E-03	1,0342E-06	-
$(NH_4)_2SO_4$	103,6	0,2812	-	-	-
H_3PO_4	175,7	236	296,2	365,5	-
$NH_4H_2PO_4$	122,1	2,45E-02	-1,72E-05	3,20E-09	-
$(NH_4)_2HPO_4$	135,5	2,85E-02	-2,40E-05	4,10E-09	-

Sumber: (Yaws, 1999; Lange's, 1972)

Berdasarkan data pada Tabel 1.14 yang sudah didapatkan, maka dapat dihitung nilai ($\Delta H_f°$) dari masing-masing komponen pada 388 K dan 353 K sebagai berikut:

$$\Delta H = A + BT + CT^2 \qquad (1.5)$$

Tabel 1. 15 Nilai ΔHf° Masing-Masing Komponen pada Suhu 388 K dan 353 K

Komponen	**$\Delta H_f°$ 388 K (kJ/mol)**	**$\Delta H_f°$ 353 K (kJ/mol)**
NH_3	2,9911E+03	1,8323E+03
H_2SO_4	4,8693E+03	-
$(NH_4)_2SO_4$	1,0463E+04	-

Komponen	$\Delta H_f°$ 388 K (kJ/mol)	$\Delta H_f°$ 353 K (kJ/mol)
H_3PO_4	6,0681E+09	-
$NH_4H_2PO_4$	1,1084E+04	6,7516E+03
$(NH_4)_2HPO_4$	-	7,4943E+03

ΔH° persamaan reaksi 1 pada suhu 388 K

$$\Delta H°_{reaksi\ 1} = (\Delta H°_f\ (NH_4)_2SO_4) - ((2 \times \Delta H°_f NH_3) + \Delta H°_f\ H_2SO_4)$$

$$= (1{,}0463 \times 10^4\ kj/mol) - ((2 \times (2{,}9911 \times 10^3\ kj/mol) + (4{,}8693 \times 10^3\ kj/mol))$$

$$= -3{,}8854 \times 10^2 \frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

ΔH° persamaan reaksi 2 pada suhu 388 K

$$\Delta H°_{reaksi\ 2} = (\Delta H°_f\ NH_4H_2PO_4) - (\Delta H°_f NH_3) + \Delta H°_f\ H_3PO_4)$$

$$= \left(1{,}1084 \times 10^4 \frac{kj}{mol}\right) - \left(\left(2{,}9911 \times 10^3 \frac{kj}{mol}\right) + \left(6{,}0681 \times 10^9 \frac{kj}{mol}\right)\right)$$

$$= -6{,}0681 \times 10^9 \frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

ΔH° persamaan reaksi 3 pada suhu 353 K

$$\Delta H°_{reaksi\ 3} = (\Delta H°_f\ (NH_4)_2HPO_4) - (\Delta H°_f NH_3) + \Delta H°_f\ NH_4H_2PO_4)$$

$$= \left(7{,}4943 \times 10^3 \frac{kj}{mol}\right) - \left(\left(1{,}8323 \times 10^3 \frac{kj}{mol}\right) + \left(6{,}7516 \times 10^3 \frac{kj}{mol}\right)\right)$$

$$= -1{,}0896 \times 10^3 \frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

Berdasarkan perhitungan, ΔH° pada reaksi pertama, kedua dan ketiga bernilai negatif (-), maka dapat disimpulkan bahwa reaksi yang berlangsung dalam proses bersifat eksotermis.

b. Energi Bebas Gibbs ($\Delta G_f°$)

Perhitungan energi bebas Gibbs ($\Delta G_f°$) digunakan untuk memprediksi apakah reaksi kimia cenderung berlangsung spontan atau tidak. Jika $\Delta G_f°$bernilai positif (+), itu menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat terjadi secara spontan dan memerlukan energi tambahan yang cukup besar dari luar. Sebaliknya, jika $\Delta G_f°$ bernilai negatif (-), reaksi dapat terjadi secara spontan dengan kebutuhan energi yang minimal. Berdasarkan data dari *Lange's* (1972), nilai $\Delta G_f°$ untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 1.16 di bawah ini.

Tabel 1. 16 ΔGf° Masing-Masing Komponen

Komponen	**$\Delta G_f°$ 298 K (kJ/mol)**
NH_3	-26,57
H_2SO_4	-744,63
$(NH_4)_2SO_4$	-903,37
H_3PO_4	-1018,8
$NH_4H_2PO_4$	-1209,76
$(NH_4)_2HPO_4$	-1248

Sumber: (Yaws, 1999; Lange's, 1972)

Perubahan Energi Gibbs dalam reaksi dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta G°_{reaksi} = \Sigma \Delta G°_{f\ produk} - \Sigma \Delta G°_{f\ reaktan} \quad (1.6)$$

ΔG° persamaan reaksi 1

$$\Delta G°_{reaksi\ 1} = (\Delta G°_f\ (NH_4)_2SO_4) - ((2 \times \Delta G°_f NH_3) + \Delta G°_f\ H_2SO_4)$$

$$= (-903{,}37\ kj/mol) - ((2 \times (-26{,}57\ kj/mol)$$

$$+ (-744{,}63\ kj/mol))$$

$$= -105{,}6\,\frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

ΔG° persamaan reaksi 2

$$\Delta G^\circ_{reaksi\ 2} = (\Delta G^\circ_f\, NH_4H_2PO_4) - (\Delta G^\circ_f NH_3) + \Delta G^\circ_f\, H_3PO_4)$$

$$= \left(-1209{,}76\,\frac{kj}{mol}\right) - \left(\left(-26{,}57\,\frac{kj}{mol}\right) + \left(-1018{,}8\,\frac{kj}{mol}\right)\right)$$

$$= -164{,}39\,\frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

ΔG° persamaan reaksi 3

$$\Delta G^\circ_{reaksi\ 2} = (\Delta G^\circ_f\, (NH_4)_2HPO_4) - (\Delta G^\circ_f NH_3) + \Delta G^\circ_f\, NH_4H_2PO_4)$$

$$= \left(-1248\,\frac{kj}{mol}\right) - \left(\left(-26{,}57\,\frac{kj}{mol}\right) + \left(-1209{,}76\,\frac{kj}{mol}\right)\right)$$

$$= -11{,}67\,\frac{\text{kj}}{\text{mol}}$$

Nilai ΔG° yang didapatkan negatif, sehingga reaksi diprediksi dapat berjalan secara spontan. Nilai tetapan kesetimbangan menurut *Smith Van Ness* (2001), dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G^\circ}{RT} \tag{1.7}$$

$$ln\left[\frac{K_2}{K_1}\right] = -\left(\frac{\Delta H_{298}}{R}\right) \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) \tag{1.8}$$

Berdasarkan data ΔH°_{298} dan ΔG° yang sudah didapatkan, maka dapat dihitung nilai tetapan kesetimbangan pada 388 K dan 353 K sebagai berikut:

K_{298} persamaan reaksi 1

$$\ln K_{298} = -\frac{(-105{,}6)}{0{,}008314\,\frac{kj}{mol} \times 298\ K}$$

$$\ln K_{298} = 42{,}62$$

$$K_{298} = 3{,}24\ x\ 10^{18}$$

K_{298} persamaan reaksi 2

$$\ln K_{298} = -\frac{(-164{,}39)}{0{,}008314\,\frac{kj}{mol} \times 298\ K}$$

$$\ln K_{298} = 66{,}35$$

$$K_{298} = 6{,}55\ x\ 10^{28}$$

K_{298} persamaan reaksi 3

$$\ln K_{298} = -\frac{(-11{,}67)}{0{,}008314\,\frac{kj}{mol} \times 298\ K}$$

$$\ln K_{298} = 4{,}71$$

$$K_{298} = 1{,}11 \times 10^{2}$$

Nilai K_{298} yang sudah didapatkan kemudian disubstitusi pada persamaan 1.8 untuk mendapatkan nilai K pada suhu operasi:

Nilai K persamaan reaksi 1 pada suhu operasi 388 K

$$ln\left[\frac{K_2}{3{,}24\ x\ 10^{18}}\right] = -\left(\frac{-104{,}43\,\frac{kJ}{mol}}{0{,}008314\,\frac{kj}{mol}}\right) \times \left(\frac{1}{388\ K} - \frac{1}{298\ K}\right)$$

$$K_2 = 1{,}84\ x\ 10^{14}$$

Nilai K persamaan reaksi 2 pada suhu operasi 388 K

$$ln\left[\frac{K_2}{6{,}55\ x\ 10^{28}}\right] = -\left(\frac{-71{,}1\,\frac{kJ}{mol}}{0{,}008314\,\frac{kj}{mol}}\right) \times \left(\frac{1}{388\ K} - \frac{1}{298\ K}\right)$$

$K_2 = 8{,}41\ x\ 10^{25}$

Nilai K persamaan reaksi 3 pada suhu operasi 353 K

$$ln\left[\frac{K_2}{1{,}11 \times 10^2}\right] = -\left(\frac{-47{,}83\frac{kJ}{mol}}{0{,}008314\frac{kj}{mol}}\right) \times \left(\frac{1}{353\ K} - \frac{1}{298\ K}\right)$$

$K_2 = 5{,}487$

Karena harga $\Delta G_f°$ pada kedua reaksi bernilai negatif, maka reaksi dapat berlangsung secara spontan dan cenderung bersifat *irreversible* karena nilai K positif (+) atau K > 1, yang menunjukkan bahwa keseimbangan sangat bergeser ke arah produk. Dengan kata lain, pada kondisi normal, sebagian besar atau bahkan seluruh reaktan telah bereaksi membentuk produk, sehingga kemungkinan reaksi berbalik ke arah reaktan menjadi sangat kecil. Hal ini menyebabkan reaksi berlangsung hampir sepenuhnya ke arah produk tanpa terjadi perubahan yang signifikan kembali ke reaktan.

1.4.2. Tinjauan Kinetika

a. Pembentukan Amonium Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$)

Konstanta kecepatan reaksi ditentukan berdasarkan teori tumbukan, dengan persamaan reaksi:

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

A B C

$-r_B = kC_AC_B$

Untuk tumbukan molekul NH_3 atau molekul A dengan molekul H_2SO_4 atau molekul B, kecepatan tumbukan dapat dihitung dengan persamaan 38 hal. 23 (Levenspiel, 1972):

$$-r_B = \left[\frac{\sigma A + \sigma B}{2}\right]^2 \frac{N}{1000}\left[8\pi k_b T\left(\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}\right)\right]^{0,5} \exp\left(-Ea/RT\right)C_A C_B \qquad (1.9)$$

Dimana:

σ : Diameter molekul (cm)

M : Berat molekul/N, massa molekul (gr)

N : Bilangan Avogadro ($6{,}023 \times 10^{23}$ molekul/mol)

k_b : Konstanta *Boltzman* ($1{,}38 \times 10^{-16}$ erg/K)

C : Konsentrasi (mol/L)

1. Menentukan Nilai A

$$A = \left[\frac{\sigma A + \sigma B}{2}\right]^2 \frac{N}{1000}\left[8\pi k_b T\left(\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}\right)\right]^{0,5} \qquad (1.10)$$

Dimana:

M_A : $1{,}627 \times 10^{-22}$ gram

M_B : $5{,}645 \times 10^{-23}$ gram

σ_A : $5{,}5284 \times 10^{-10}$ gram

σ_B : $5{,}6376 \times 10^{-10}$ gram (Sumber: Manual Book Petrokimia, 2012)

$$A = \left[\frac{5{,}5284 \times 10^{-10} + 5{,}6376 \times 10^{-10}}{2}\right]^2 \frac{6{,}023 \times 10^{23}}{1000}\left[8 \times 3{,}14 \times 1{,}38\, x\, 10^{-16} \times 388\left(\frac{1}{1{,}627 \times 10^{-22}}+\frac{1}{5{,}645 \times 10^{-23}}\right)\right]^{0,5}$$

$$= 3{,}3641 \times 10^7 L/mol.s$$

2. Menentukan Nilai Ea

$$Ea = (\Delta H^* - RT) \qquad (1.11)$$

ΔH^* didekati dengan energi ikat reaksi, pada (tabel 4-11, *Lange's* dan tabel 2-388 *Perry*)

Dimana:

$2NH_3$: 870 kJ/mol

H_2SO_4 : 252,9 kJ/mol

$(NH_4)_2SO_4$: 1.183,016 kJ/mol (Sumber: Manual Book Petrokimia, 2012)

$$\Delta H^* = Energi\ ikat\ produk - Energi\ ikat\ reaktan$$

$$= 1.183{,}016\ kJ/mol - (870\ kJ/mol + 252{,}9\ kJ/mol$$

$$= 60{,}116\ kJ/mol$$

$$= 60.116\ J/mol$$

Maka dapat dicari nilai Ea

$$Ea = (\Delta H^* - RT)$$

$$= 60.116\ J/mol - (8{,}13\ J/mol \times 388\ K)$$

$$= 56.890{,}168\ J/mol$$

Dengan R = 8,314 J/mol.K sehingga menjadi:

$$\frac{Ea}{R} = \frac{56.890{,}168\ J/mol}{8{,}314\ J/mol.K}$$

$$= 6.842{,}6952\ /K$$

3. Menentukan Nilai k

Dari nilai A dan Ea yang didapatkan maka persamaan konstanta kecepatan reaksi menjadi:

$$k = A.e^{\left(\frac{-Ea}{RT}\right)} \qquad (1.12)$$

$$k = 3{,}3641 \times 10^7.e^{\left(\frac{-6.842{,}6952}{T}\right)}$$

b. Pembentukan Monoamonium Fosfat ($NH_4H_2SO_4$)

Konstanta kecepatan reaksi ditentukan berdasarkan teori tumbukan, dengan persamaan reaksi:

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$$

A B C

$$-r_B = kC_AC_B$$

Untuk tumbukan molekul NH_3 atau molekul A dengan molekul H_3PO_4 atau molekul B, kecepatan tumbukan dapat dihitung denganpersamaan 38 hal. 23 (Levenspiel, 1972):

$$-r_A = \left[\frac{\sigma A + \sigma B}{2}\right]^2 \frac{N}{1000}\left[8\pi k_b T\left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right)\right]^{0,5} \exp\left(-Ea/RT\right)C_AC_B \qquad (1.9)$$

Dimana:

σ : Diameter molekul (cm)

M : Berat molekul/N, massa molekul (gr)

N : Bilangan Avogadro ($6{,}023 \times 10^{23}$ molekul/mol)

k_b : Konstanta Boltzman ($1{,}38 \times 10^{-16}$ erg/K)

C : Konsentrasi (mol/L)

1. Menentukan Nilai A

$$A = \left[\frac{\sigma A + \sigma B}{2}\right]^2 \frac{N}{1000}\left[8\pi k_b T\left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right)\right]^{0,5} \qquad (1.10)$$

Dimana:

M_A : $12{,}8225 \times 10^{-23}$ gram

M_B : $6{,}2676 \times 10^{-23}$ gram

σ_A : $4{,}4775 \times 10^{-10}$ gram

σ_B : 3,994 × 10^{-10} gram (Sumber: Manual Book Petrokimia, 2012)

$$A = \left[\frac{4{,}4775 \times 10^{-10} + 3{,}994 \times 10^{-10}}{2}\right]^2 \frac{6{,}023 \times 10^{23}}{1000}\left[8 \times 3{,}14 \times 1{,}38\, x\, 10^{-16} \times 388\left(\frac{1}{2{,}8225 \times 10^{-23}} + \frac{1}{6{,}2676 \times 10^{-23}}\right)\right]^{0,5}$$

$= 3{,}3641 \times 10^7\ L/mol.s$

2. Menentukan Nilai Ea

$$Ea = (\Delta H^* - RT) \quad (1.11)$$

ΔH^* didekati dengan energi ikat reaksi, pada (tabel 4-11, Lange's dan tabel 2-388 Perry)

Dimana:

NH_3 : 435 kJ/mol

H_3PO_4 : 1.589,23 kJ/mol

$NH_4H_2PO_4$: 2.103,84 kJ/mol (Sumber: Manual Book Petrokimia, 2012)

$\Delta H^* = Energi\ ikat\ produk - Energi\ ikat\ reaktan$

$= 2.103{,}84\ kJ/mol - (435\ kJ/mol + 1.589{,}23\ kJ/mol$

$= 79{,}61\ kJ/mol$

$= 79.61\ J/mol$

Maka dapat dicari nilai Ea

$Ea = (\Delta H^* - RT)$

$= 79.61\ J/mol - (8{,}13\ J/mol \times 388\ K)$

$= 76.384{,}168\ J/mol$

Dengan R = 8,314 J/mol.K sehingga menjadi:

$$\frac{Ea}{R} = \frac{76.384{,}168\ J/mol}{8{,}314\ J/mol.K}$$

$$= 69.287{,}4149\ /K$$

3. Menentukan Nilai k

Dari nilai A dan Ea yang didapatkan maka persamaan konstanta kecepatan reaksi menjadi:

$$k = A.e^{\left(\frac{-Ea}{RT}\right)} \qquad (1.12)$$

$$k = 2{,}8416 \times 10^{7}.e^{\left(\frac{-9.287{,}4149}{T}\right)}$$

c. Pembentukan Diamonium Fosfat ($(NH_4)_2HPO_4$)

Model kinetika reaksi pada proses pembentukan diammonium phosphate (DAP) dari pereaksi NH_3 dan $NH_4H_2PO_4$ telah diteliti oleh (Hamid, 2005). Reaksi pembentukan DAP dapat dituliskan sebagai berikut:

$$NH_3 + NH_4H_2PO_4 \rightarrow (NH_4)_2HPO_4$$

A B C

$$-r_B = kC_AC_B$$

Dari hasil penelitian diketahui bahwa temperatur operasi 80°C merupakan kondisi optimum, dimana pada kondisi tersebut diperoleh konstanta kecepatan reaksi sebesar 0,006 L/mol·menit. Energi aktivasi (Ea) yang diperlukan untuk reaksi ini adalah 0,7302 kkal/mol. Hubungan antara konstanta laju reaksi dan temperatur mengikuti persamaan Arrhenius berikut:

$$k = 0{,}3542.e^{\left(\frac{-1.445{,}8}{T}\right)}$$

BAB II. PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Pupuk NPK

a. Sifat-sifat Fisis

Berat molekul	: 60.07
Bentuk dan warna	: granul, biru atau biru pudar
Bau	: tidak berbau
Densitas	: 2.31 g/cm^3
Titik lebur	: 132.26°C
Kelarutan dalam air (25°C)	: 1.193 g/L
pH	: 7.2 pada 100 g/L
Fase	: padat

b. Sifat-sifat Kimia

1. Dapat menjadi bahan yang mudah meledak jika bercampur dengan asam kuat seperti asam nitrat atau perklorat.
2. Dalam kondisi terbakar, bahan ini bisa menghasilkan: Nitrogen oksida, Amonia, Biuret dan Karbon oksida.

c. Spesifikasi Produk

Batas toleransi minimal kandungan pupuk NPK yang dipersyaratkan oleh Badan Standardisasi Nasional melalui SNI 2803 tahun 2010 adalah sebagai berikut:

- Nitrogen total : 8%
- Fosfor total sebagai P_2O_5 : 8%

- Kalium sebagai K_2O : 8%

Berikut ini merupakan spesifikasi produk pupuk NPK yang akan di produksi:

Kandungan:

- N (Nitrogen) : 20%
- P_2O_5 (Fosfat) : 12%
- K (Kalium) : 12%

Spesifikasi:

- Bentuk granul
- Warna biru atau biru pudar
- Berukuran 2 mm – 4 mm

Pupuk yang akan diproduksi dikenal di pasaran sebagai pupuk NPK 20-12-12. Pupuk NPK jenis ini merupakan yang paling banyak digunakan di Indonesia karena cocok dengan tanaman padi, jagung, dan tebu.

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Green Ammonia

a. Sifat-sifat Fisis

Rumus molekul	: NH_3
Warna dan bau	: tidak berwarna, tajam menyengat
Berat molekul	: 17.04
Berat jenis	: 0.682
Densitas (20°C)	: 0.6
Titik lebur	: -77.72°C

Titik didih : -33.35°C pada 760 mm Hg

Titik nyala : 132.4°C

pH : 11.6

Fase : cair

b. Sifat-sifat Kimia

1. Kontak dengan oksidator kuat dapat mengakibatkan kebakaran dan ledakan.
2. Dapat menyebabkan luka bakar serius pada kulit atau kerusakan parah pada mata.
3. Dapat menyebabkan keracunan pada ekosistem laut apabila dibuang sembarangan.
4. Dapat menyebabkan keracunan apabila terhirup, tertelan atau kontak dengan kulit.

c. Spesifikasi Bahan

1. Bentuk : Cair
2. Kadar NH_3 : 99,5 %
3. Kadar H_2O : 0,5%

2.2.2 Asam Sulfat

a. Sifat-sifat Fisis

Rumus molekul : H_2SO_4

Bentuk dan warna : agak kental, jernih kecoklat-coklatan

Bau : hampir tidak berbau

Titik lebur : -35°C s.d 10.36°C pada 101.3 kPa

Titik didih : 270°C s.d 340°C

Spesific Density : 1.84

pH : <1

Fase : cair

b. Sifat-Sifat Kimia

1. Sangat korosif sehingga dapat menyebabkan iritasi pada apabila kontak dengan mata dan kulit.
2. Dapat menyebabkan keracunan apabila terhirup.
3. Dapat menyebabkan luka bakar dan kerusakan jaringan apabila kontak dengan kulit.
4. Dapat mengganggu kehidupan akuatik apabila dibuang sembarangan.

c. Spesifikasi Bahan

1. Bentuk : Cair
2. Kadar H_2SO_4 : Min 98 %
3. Kadar H_2O : 2%

2.2.3 Asam Fosfat

a. Sifat-sifat Fisis

Rumus molekul : H_3PO_4

Bentuk : agak kental/sirup

Bau : tidak berbau

Titik lebur : 21°C

Titik didih : 158°C

Tekanan uap : 0.3 kPa pada 20°C

Densitas uap : 3.4

Spesific gravity : 1.7

pH : <1

Fase : cair

b. Sifat-sifat Kimia

1. Dapat menyebabkan efek terbakar pada mulut, kerongkongan, dan perut apabila tertelan.
2. Dapat menyebabkan iritasi pada hidung, tenggorokan, dan saluran pernafasan apabila terhirup.
3. Dapat menyebabkan eutrofikasi atau keracunan terhadap plankton dan organisme air.

c. Spesifikasi Bahan

1. Bentuk : Cair
2. Kadar H_3PO_4 : 54%
3. Kadar H_2O : 46%

2.2.4 Kalium Klorida

a. Sifat-sifat Fisis

Rumus molekul : KCl

Bentuk dan warna : padat, putih

Bau : tidak berbau

Titik lebur : 770°C

Titik didih : 1.413°C pada 1.013 hPa

Kelarutan dalam air (25°C) : 335 g/L

Densitas (20°C) : 1.98 g/cm^3

pH : 5.5 – 8.5 pada 50 g/L (20°C)

Fase : padat

b. Sifat-sifat Kimia

1. Dapat menyebabkan keracumnan pada ikan apabila dibuang sembarangan.
2. Dapat menyebabkan keracunan bagi organisme air (ganggang air, daphnia, binatang tak bertulang belakang) apabila dibuang sembarangan.

c. Spesifikasi Bahan

1. Bentuk : Butiran
2. Kadar KCL : 99,1 %
3. Kadar H_2O : 0,9 %
4. Ukuran : 150 nm – 1 mm

2.2.5 Ammonium Sulfat

a. Sifat-sifat Fisis

Rumus molekul : $(NH_4)_2SO_4$

Bentuk dan warna : padat, ungu

Bau : tidak berbau

Titik lebur : 39-41°C

Spesific density : 1.77 pada 25°C

Kelarutan dalam air(20°C) : 482.2 g/L

pH : 1

Fase : padat

b. Sifat-sifat Kimia

1. Dapat menghasilkan gas atau uap berbahaya apabila kontak dengan asam kuat.

c. Spesifikasi Bahan

1. Bentuk : Butiran
2. Kadar $(NH_4)_2SO_4$: 99%
3. Kadar H_2O : 1%

2.2.6 Urea

a. Sifat-sifat Fisis

Rumus molekul	: $(NH_2)2CO$
Bentuk dan warna	: granul, putih
Bau	: menyerupai bau amonia
Berat molekul	: 60.07
Titik dekomposisi	: 350°C
Titik nyala	: 72.7 ± 22.6°C
Tekanan uap (25°C)	: 1.2 × 10-5 mm mercury (Hg)
Densitas (68°F)	: 1.34 g/cm^3
Kelarutan dalam air (25°C)	: 545 g/L
pH	: 7.2
Fase	: padat

b. Sifat-sifat Kimia

1. Urea dapat mengadsorbsi asam humat melalui kompleksasi radikal bebas.

2. Dapat menimbulkan kontaminasi pencemaran terhadap air apabila dibuang sembarangan seperti selokan.

c. Spesifikasi Bahan

1. Bentuk : Butiran
2. Kadar $CO(NH_2)_2$: 99,5 %
3. Kadar H_2O : Maks 0,5 %
4. Ukuran : 1 mm – 3,35 mm

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas adalah teknik yang sangat berguna bagi perusahaan untuk menilai kualitas produk sebelum didistribusikan ke konsumen. Teknik ini membantu perusahaan dalam mengevaluasi kelayakan dan kualitas produk berdasarkan batas-batas kontrol yang telah ditetapkan. Dengan menerapkan pengendalian kualitas, perusahaan dapat meraih sejumlah manfaat, seperti meningkatkan kualitas produk agar hasil yang diperoleh optimal, meningkatkan produktivitas dengan mengurangi jumlah produk cacat selama proses produksi, mengeliminasi biaya produksi yang tidak diperlukan, dan mencegah ketidaksesuaian dalam proses produksi sehingga produk tetap sesuai dengan standar dan spesifikasi yang diinginkan perusahaan. Selain itu, pengendalian kualitas juga dapat meningkatkan keuntungan yang diperoleh perusahaan.

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Bahan baku merupakan komponen utama yang berperan penting dalam proses produksi karena akan menjadi bagian dari produk akhir. Dalam perancangan pabrik pupuk NPK yang menggunakan *green* amonia sebagai salah satu bahan baku

utama, pengendalian kualitas bahan baku dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh bahan yang digunakan memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan, sehingga proses produksi dapat berjalan optimal dan menghasilkan produk dengan mutu yang konsisten.

Bahan baku yang digunakan pada proses produksi terdiri atas dua kelompok, yaitu bahan padat dan bahan cair. Bahan padat meliputi urea, kalium klorida (KCl), dan amonium sulfat (ZA), sedangkan bahan cair meliputi *green* amonia, asam sulfat (H_2SO_4), dan asam fosfat (H_3PO_4). Seluruh bahan tersebut harus melalui proses pengujian mutu awal sebelum digunakan pada tahap produksi untuk menjamin kesesuaian terhadap standar teknis dan operasional pabrik. Pengujian bahan baku dilakukan melalui beberapa parameter, antara lain:

a. Analisis Kemurnian

   Setiap bahan harus memiliki tingkat kemurnian yang tinggi untuk mencegah terbentuknya pengotor yang dapat memengaruhi efisiensi reaksi kimia dan kualitas produk akhir.

b. Pengujian Kadar Air dan Kelembapan

   Diuji pada bahan padat seperti urea, KCl, dan ZA. Kadar air berlebih dapat menyebabkan penggumpalan (*caking*) yang menghambat proses pencampuran dan granulasi.

c. Uji Viskositas dan Densitas

   Diuji pada bahan cair seperti asam sulfat, asam fosfat, dan *green ammonia* untuk menjamin karakteristik fisik bahan sesuai dengan standar

proses. Perubahan nilai dapat memengaruhi kestabilan aliran dan efisiensi reaksi di *pre-neutralizer*.

d. Analisis Komposisi dan pH

Dilakukan untuk mengontrol kestabilan bahan cair sebelum tahap reaksi netralisasi. Nilai pH yang tidak sesuai dapat menimbulkan reaksi yang tidak diinginkan dan berpotensi menurunkan kualitas *slurry* hasil *pre-neutralizer*.

2.3.2 Pengendalian Proses Produksi

Alat ukur dan instrumentasi merupakan komponen penting dalam mengontrol proses produksi. Dengan adanya sistem ini, bagian-bagian kritis dari pabrik yang memerlukan pengawasan rutin dapat dikendalikan dengan baik. Instrumentasi memiliki tiga fungsi utama, yaitu sebagai alat pengukur, alat analisis, dan alat pengendali. Selain digunakan untuk memantau kondisi operasi, instrumentasi juga berfungsi untuk mengatur variabel proses, baik secara manual maupun otomatis, serta memberikan peringatan kepada operator mengenai kondisi yang kritis atau berbahaya. Instrumentasi harus selalu tersedia dan berfungsi sesuai dengan kebutuhan di tempat pemasangannya. Keberadaan instrumentasi ini sangat berperan dalam menentukan kualitas hasil produksi. Pengendalian proses produksi di pabrik ini mencakup aliran dan sistem kontrol alat.

a. Aliran Sistem Kontrol

1. Aliran Pneumatik (aliran udara tekan) digunakan untuk *valve* dari *controller* ke *actuator*.
2. Aliran *electric* (aliran listrik) digunakan untuk suhu dari sensor ke *controller*.

3. Aliran mekanik (aliran gerakan/perpindahan level) digunakan untuk *flow* dari sensor ke *controller*.

b. Alat Sistem Kontrol

1. Sensor, digunakan untuk identifikasi variabel-variabel proses. Alat yang digunakan manometer untuk sensor aliran fluida, tekanan dan level, *thermocouple* untuk sensor suhu.
2. Controller meliputi *Level Control* (LC), *Temperature Control* (TC), *Pressure Control* (PC), *Flow Control* (FC), MC (*Moisture Control*), WC (*Weight Control*), LI (*Level Indicator*), MI (*Moisture Indicator*), PDI (*Pressure Differential Indicator*), SC (*Speed Control*), dan FRC (*Flow Ratio Control*).

a) *Level Control* (LC)

Level Control berfungsi untuk mengetahui dan mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat sehingga tidak melebihi batas maksimum yang diizinkan. Secara umum LC digunakan dalam suatu alat yang berupa kolom atau *vessel*. LC dihubungkan dengan control *valve* pada aliran keluar kolom atau *vessel.*

b) *Temperatur Control* (LC)

Temperature Control berfungsi untuk mengetahui dan mengendalikan suhu operasi suatu alat berdasarkan suhu operasi yang ditetapkan.

c) *Pressure Control* (PC)

Pressure Control berfungsi untuk mengetahui dan mengendalikan tekanan operasi berdasarkan tekanan operasi suatu alat yang ditetapkan. PC sangat dibutuhkan pada system yang menggunakan aliran steam atau gas. PC dihubungkan dengan control *valve* pada aliran keluaran *steam* atau gas.

d) *Flow Control* (FC)

Flow Control berfungsi untuk mengetahui dan mengendalikan debit aliran dari suatu bahan yang akan masuk ke suatu proses atau alat.

e) MC (*Moisture Control*)

Moisture Control berfungsi untuk mengukur dan mengendalikan tingkat kelembaban (kadar air) dalam suatu proses, zat, atau ruangan agar tetap berada pada batas parameter yang diinginkan.

f) WC (*Weight Control*)

Sistem kontrol yang berfungsi untuk memantau dan mengatur berat suatu material. Alat ini sering digunakan pada sistem pengisian (*filling*), penimbangan bahan baku (*batching*), atau konveyor untuk memastikan bobotnya akurat.

g) LI (*Level Indicator*)

Alat ukur yang berfungsi untuk menampilkan ketinggian permukaan (*level*) cairan atau material padat (seperti bubuk/butiran) di dalam sebuah tangki, wadah, atau silo secara *real-time*.

h) MI (*Moisture Indicator*)

Alat yang berfungsi khusus untuk menampilkan nilai kelembaban suatu zat atau lingkungan pada layar/panel, tanpa melakukan aksi pengontrolan secara langsung.

i) PDI (*Pressure Differential Indicator*)

Alat yang berfungsi untuk menampilkan perbedaan tekanan (selisih tekanan) antara dua titik yang berbeda dalam suatu sistem. Sering digunakan untuk memantau tingkat penyumbatan pada filter atau aliran di dalam pipa.

j) SC (*Speed Control*)

Speed Control berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan kecepatan operasi mesin, motor listrik, atau ban berjalan (*conveyor belt*) sesuai kebutuhan proses.

k) FRC (*Flow Ratio Control*)

Sistem kontrol yang berfungsi untuk menjaga perbandingan (rasio) laju aliran antara dua atau lebih aliran fluida agar tetap konstan. Alat ini sangat penting dalam proses pencampuran (*blending*) dua bahan kimia atau zat yang berbeda.

3. *Actuator* digunakan untuk memanipulasi agar variabelnya sama dengan variabel *controller*. Alat yang harus digunakan *automatic control valve* dan *manual hand valve*.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Kualitas pupuk NPK yang dihasilkan sangat bergantung pada ketepatan setiap tahapan proses produksi, mulai dari pencampuran bahan baku, netralisasi,

granulasi, hingga pengeringan dan pelapisan produk akhir. Untuk mencapai standar mutu yang diinginkan, diperlukan pengawasan dan pengendalian yang ketat terhadap setiap parameter proses. Pengendalian kualitas produk dilakukan melalui beberapa aspek utama berikut:

a. Kadar Hara

Pengujian dilakukan untuk memastikan kadar nitrogen, fosfat, dan kalium sesuai dengan spesifikasi formulasi NPK yang ditetapkan. Penyimpangan kadar hara dapat menunjukkan ketidakseimbangan pencampuran atau reaksi yang tidak sempurna.

b. Kadar Air Produk

Diperiksa untuk memastikan kadar air maksimum tidak melebihi 1,5%, agar granul tidak mudah menggumpal (*caking*) dan stabil selama penyimpanan.

c. Ukuran dan Kekuatan Granul

Granul diuji agar berada dalam rentang ukuran 3-6 mm, dengan kekuatan mekanik yang cukup untuk mencegah pecah selama transportasi dan penanganan.

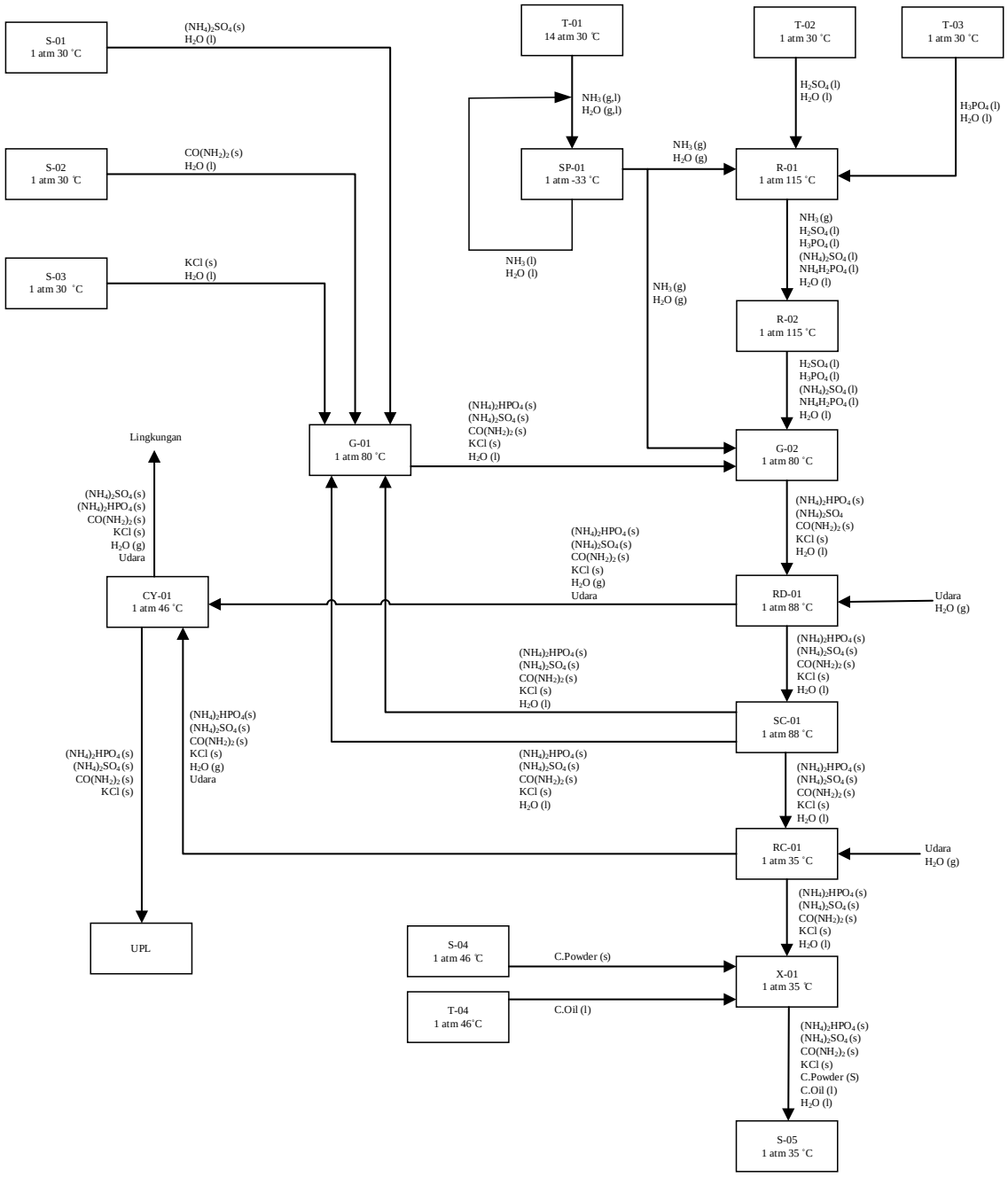
d. pH dan Kemurnian Produk

Nilai pH dijaga antara 5–8, menandakan reaksi netralisasi berjalan sempurna. Selain itu, dilakukan uji kemurnian untuk memastikan tidak adanya sisa asam atau amonia bebas yang dapat menurunkan kualitas produk.

BAB III. PERANCANGAN PROSES

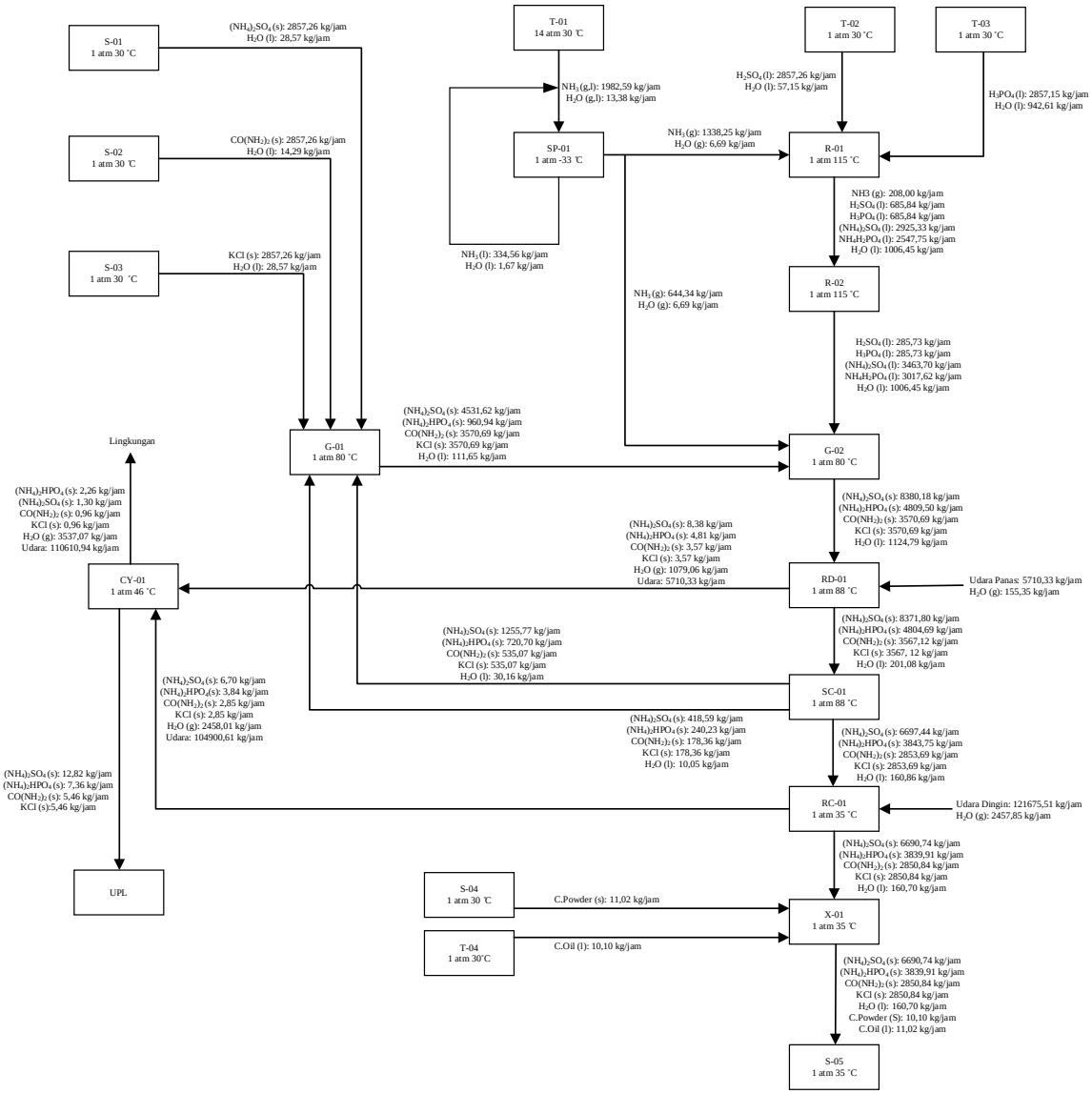
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kulaitatif



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Pabrik produksi pupuk NPK ini memiliki kapasitas produksi sebesar 130.000 ton per tahun dan beroperasi selama 24 jam per hari dalam 330 hari per tahun. Proses pembuatan pupuk NPK dalam pradesain pabrik ini adalah *mixed acid route process*. Proses produksi yang menggabungkan proses pencampuran (*mixing*) dan reaksi (*reaction*). Secara umum, proses pembuatan pupuk NPK terdiri atas pemrosesan bahan padat menggunakan *pug mill* (G-01) dan bahan cair menggunakan *neutralizer reactor* (R-01) yang selanjutnya disatukan dalam granulator (G-02). Berikut urutan proses pembuatan pupuk NPK.

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

a. Green Amonia

Green Amonia (NH_3) yang digunakan dalam proses ini memiliki kemurnian 99,5% dengan kandungan 0,5% air. Bahan baku ini disimpan dalam Tangki Silinder Tegak dengan isolator (T-01) dalam fase cair pada suhu 30°C dan tekanan 14 atm untuk menjaga stabilitasnya. Dari tangki penyimpanan, amonia di pompa menuju *heater* (VAP-01) hingga mencapai suhu sekitar 80°C sebelum masuk ke reaktor (R-01). Pemanasan ini bertujuan untuk mengubah fase amonia dan menghindari perbedaan temperatur yang terlalu besar antara aliran umpan dengan kondisi reaktor (R-01) serta menjaga kestabilan fase saat proses pencampuran berlangsung.

b. Asam Sulfat

Bahan baku asam sulfat (H_2SO_4) dengan kemurnian 98% dengan kandungan 2% air disimpan dalam tangki penyimpanan (T-02) dalam fase cair pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm untuk menjaga kestabilannya. Dari tangki

penyimpanan, asam sulfat di pompa menuju *heater* (HE-01) hingga mencapai suhu sekitar 122°C sebelum masuk ke reaktor (R-01) untuk mencapai suhu yang sesuai dengan kondisi reaksi, sehingga reaksi dapat berlangsung dengan optimal.

c. Asam Fosfat

Bahan baku asam fosfat (H_3PO_4) dengan kemurnian 54% dengan kandungan 46% air disimpan dalam tangki penyimpanan (T-03) dalam fase cair pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm untuk menjaga kestabilannya. Dari tangki penyimpanan, asam fosfat di pompa menuju *heater* (HE-02) hingga mencapai suhu sekitar 122°C sebelum masuk ke reaktor (R-01) untuk mencapai suhu yang sesuai dengan kondisi reaksi, sehingga reaksi dapat berlangsung dengan optimal.

d. Ammonium Sulfat

Ammonium Sulfat atau ZA ($(NH_4)_2SO_4$) yang digunakan dalam proses ini memiliki kemurnian 99%. Bahan baku ini disimpan dalam silo (S-01) dalam fase padat pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm untuk menjaga stabilitasnya. Dari silo penyimpanan, ZA dialirkan menggunakan *belt conveyor* (BC-01) menuju *pug mill* (G-01).

e. Urea

Urea ($(NH_2)_2CO$) yang digunakan dalam proses ini memiliki kemurnian 99,5%. Bahan baku ini disimpan dalam silo (S-02) dalam fase padat pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm untuk menjaga stabilitasnya. Dari silo penyimpanan, urea dialirkan menggunakan *belt conveyor* (BC-02) menuju *pug mill* (G-01).

f. Kalium Klorida

Kalium Klorida (KCL) yang digunakan dalam proses ini memiliki kemurnian 99,1%. Bahan baku ini disimpan dalam silo (S-03) dalam fase padat pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm untuk menjaga stabilitasnya. Dari silo penyimpanan, urea dialirkan menggunakan *belt conveyor* (BC-03) menuju *pug mill* (G-01).

3.2.2 Pengumpulan dan Pencampuran Bahan Baku Cair (Proses Netralisasi)

Bahan baku asam berupa H_3PO_4 dan H_2SO_4 dialirkan menuju *neutralizer* reaktor (R-01). Secara bersamaan, amonia (NH_3) yang telah diubah fase dan dinaikan suhunya menggunakan *vaporizer* juga dumasukkan ke reaktor tersebut. Proses netralisasi berlangsung di dalam *neutralizer tank* (R-01) pada kondisi operasi suhu 115 °C dan tekanan 1 atm. Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga digunakan tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) yang dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menstabilkan suhu serta menyerap panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsung.

Di dalam reaktor, amonia cair yang diinjeksikan akan langsung mengalami perubahan fase total menjadi gas akibat kondisi operasi reaktor (115 °C, 1 atm) yang berada jauh di atas titik didih normal amonia. Namun, karena amonia memiliki kelarutan dan afinitas yang sangat tinggi dalam larutan asam pekat, fase gas tersebut segera terlarut secara simultan dan bereaksi dengan asam fosfat serta asam sulfat untuk membentuk amonium sulfat (ZA) dan monoamonium fosfat (MAP). Hasil keluaran dari reaktor ini berupa *slurry* yang merupakan campuran

suspensi ZA, MAP, dan sisa asam yang belum bereaksi, yang selanjutnya dialirkan menuju granulator (G-02) untuk tahap granulasi.

3.2.3 Pengumpanan dan Pencampuran Bahan Baku Padat

Bahan baku padat berupa urea, KCl, ZA dimasukkan ke dalam *pug mill* (G-01). Fungsi dari *pug mill* adalah mengontakkan dan mencampurkan sekaligus mengecilkan semua bahan baku padat sehingga diperoleh campuran yang homogen dan ukuran partikel lebih seragam. Selain bahan baku segar, ke dalam *pug mill* juga dimasukkan sebagian produk *recycle* yang berasal dari *screener* (SC-01). Proses pencampuran di dalam *pug mill* berlangsung pada suhu sekitar 80°C dan tekanan 1 atm. Selanjutnya material padat yang telah tercampur dialirkan menuju granulator (G-02).

3.2.4 Proses Granulasi

Hasil keluaran dari reaktor (R-01) selanjutnya dialirkan ke dalam granulator (G-02) bersama dengan bahan baku padat dari *pug mill* (G-01). Proses granulasi ini berlangsung pada kondisi operasi suhu 80 °C dengan tekanan 1 atm. Selain itu, amonia juga diinjeksikan ke dalam granulator melalui sistem sparger untuk melengkapi proses netralisasi asam serta mengatur rasio nitrogen dalam produk akhir.

Di dalam granulator, amonia yang diinjeksikan akan bereaksi dengan sisa asam sulfat dan asam fosfat, menghasilkan ZA dan MAP. Selanjutnya, MAP yang telah terbentuk akan bereaksi dengan amonia menghasilkan diammonium fosfat (DAP). Reaksi ini menyebabkan permukaan granul tetap kering dan menghasilkan butiran yang lebih keras, sehingga meningkatkan stabilitas, kemudahan

penanganan, serta ketahanan produk selama penyimpanan. Selanjutnya produk padatan dari granulator dialirkan menuju *rotary dryer* (RD-01).

3.2.5 Pengeringan Produk

Padatan pupuk NPK keluar dari granulator (G-02) diumpankan kedalam *rotary dryer* (RD-01) untuk menurunkan kadar air produk menjadi 1-1,5%. Pengeringan yang dilakukan dalam *rotary dryer* menggunakan udara panas yang diperoleh dari udara luar yang dipanaskan dalam *heater* (HE-03) sampai temperatur 115°C. Udara yang keluar dari *rotary dryer* mengandung sejumlah debu produk dan uap air yang terlepas selama proses pengeringan. Udara akan dimasukkan ke dalam *cyclone* (CY-01). Sementara itu, produk utama hasil pengeringan yang keluar dari *rotary dryer* akan dialirkan menuju *screener* (S-01).

3.2.6 Pengayakan Produk

Produk kering dari *rotary dryer* (RD-01) dialirkan ke *screen* (SC-01) untuk dipisahkan menjadi 3 jenis, yaitu *onsize, undersize dan oversize*. Produk *oversize* tertahan di *screen* dialirkan menggunakan *belt conveyor* (BC-08), sedangkan produk *undersize* yang jatuh dari sisi bawah *screen* dialirkan menggunakan *belt conveyor* (BC-09). Kedua jenis produk tersebut selanjutnya di-*recycle* kembali ke *pug mill* (G-01). Arus *recycle* yang terdiri dari Urea, KCl, ZA, DAP, dan H_2O tidak mengalami reaksi kimia yang membentuk senyawa baru di luar target formula NPK. Komponen-komponen tersebut bersifat inert (tidak saling bereaksi) terhadap bahan baku padat maupun reaktan asam-basa H_2SO_4, H_3PO_4 dan NH_3 di dalam granulator. Fungsi utama arus recycle tersebut adalah memproses kembali produk keluaran screen yang ukurannya belum sesuai standar agar tidak terbuang secara

sia-sia. Kehadirannya di granulator tidak memicu reaksi kimia baru yang merubah struktur masing-masing komponen penyusun NPK. Sementara itu, produk *onsize* akan langsung masuk ke *rotary cooler* (RC-01) untuk proses pendinginan.

3.2.7 Pendinginan Produk

Produk dengan ukuran *onsize* keluaran dari *screen* (S-01) diumpankan secara ke *rotary cooler* (RC-01) yang berfungsi untuk menurunkan temperatur menjadi 35 ˚C dengan menggunakan udara kering dingin. Produk yang telah mengalami pendinginan selanjutnya masuk kedalam *coater drum* (X-01) sedangkan udara keluar dari *rotary cooler* masuk ke *cyclone* (CY-01).

Udara yang keluar dari *rotary cooler* mengandung sejumlah debu produk dan uap air yang teruapkan dari produk saat pendinginan. Udara akan dimasukkan ke dalam *cyclone* (CY-01) untuk memisahkan sebagian besar partikel yang terbawa gas. Partikel debu yang tertangkap oleh *cyclone* (CY-01) akan dialirkan ke unit pengelolaan lanjut melalui *screw conveyor* (SR-02) sedangkan gas yang lolos akan dilepas ke atmosfer.

3.2.8 Pelapisan Produk

Pelapisan atau *coating* diperlukan terutama pada formulasi pupuk yang menggunakan urea karena sifat higroskopis bahan baku tersebut dapat mempercepat proses caking (penggumpalan), terutama jika terdapat variasi temperatur udara dan kadar air selama penyimpanan. Proses ini dilakukan di dalam *coater drum* (X-01) dengan mengombinasikan dua komponen aditif yang bekerja secara sinergis, yaitu *coating oil* berupa SK-Fert dari tangki *coating oil* (T-04) dan *coating agent* berupa *Talc Powder* dari silo *coating powder* (S-04). Di dalam drum,

SK-Fert disemprotkan terlebih dahulu untuk bertindak sebagai agen pengikat fisis sekaligus membentuk lapisan film hidrofobik tahan air guna menahan laju penyerapan uap air dari udara luar. Bersamaan dengan itu, *Talc Powder* diumpankan secara kontinu untuk menyerap sisa kelebihan minyak serta bertindak sebagai agen anti-gumpal yang membatasi kontak fisik antar-butiran granul agar tidak saling melekat akibat tekanan tumpukan. Sinergi kedua bahan ini menghasilkan permukaan pupuk yang kering, tidak lengket, mudah dituang, dan memiliki warna yang seragam. Produk akhir keluaran *coater drum* yang telah terlapisi sempurna ini keluar dengan temperatur 35 °C, lalu dialirkan menuju silo penyimpanan produk untuk didistribusikan atau digunakan lebih lanjut.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Alat Proses

a. Reaktor 1

Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor 1

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-01
Fungsi	Mereaksikan amonia (NH_3), asam sulfat (H_2SO_4) dan asam fosfat (H_3PO_4) untuk menghasilkan ZA dan MAP
Jenis/Tipe	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga, Rp	1.237.744.026,57
Kondisi Operasi	
Suhu,˚C	115
Tekanan, atm	1
Sifat Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 type II Grade 316*
Diameter (ID) Shell, m	1,8689
Tebal Shell, in	0,1881
Konstruksi dan Material	

Tinggi Total, m	4,0444
Jenis Head	*Thorispherical Flanged & Dished Head*
Spesifikasi Khusus	
Tipe Pengaduk	6 *Vertical Blades Flat Turbine*
Diameter Pengaduk, m	0,6230
Lebar baffle, m	0,1869
Kecepatan Pengaduk, rpm	136,5148
Power Pengaduk, hp	40
Jumlah Baffle	4
Jenis Coolant	Air
Kebutuhan Coolant, kg/jam	124,9
Luas Area Transfer Panas, m^2	1,5399
Ud ($W/m^2.K$)	340,6957
Tebal Jaket, m	0,003

b. Reaktor 2

Tabel 3. 2 Spesifikasi Reaktor 2

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-02
Fungsi	Mereaksikan amonia (NH_3), asam sulfat (H_2SO_4) dan asam fosfat (H_3PO_4) untuk menghasilkan ZA dan MAP
Jenis/Tipe	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga, Rp	1.237.744.026,57
Kondisi Operasi	
Suhu,˚C	115
Tekanan, atm	1
Sifat Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 type II Grade 316*
Diameter (ID) Shell, m	1,8689
Tebal Shell, in	0,1881
Konstruksi dan Material	
Tinggi Total, m	4,0444
Jenis Head	*Thorispherical Flanged & Dished Head*
Spesifikasi Khusus	
Tipe Pengaduk	6 *Vertical Blades Flat Turbine*

Diameter Pengaduk, m	0,6230
Lebar baffle, m	0,1869
Kecepatan Pengaduk, rpm	136,5148
Power Pengaduk, hp	40
Jumlah Baffle	4
Jenis Coolant	Air
Kebutuhan Coolant, kg/jam	124,9
Luas Area Transfer Panas, m^2	1,5399
Ud ($W/m^2.K$)	340,6957
Tebal Jaket, m	0,003

c. Granulator

Tabel 3. 3 Spesifikasi Granulator

Spesifikasi Granulator	
Kode	G-02
Fungsi	Mereaksikan amonia (NH_3), asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4) dan ZA untuk menghasilkan MAP dan DAP
Jenis/Tipe	*Rotary Drum Granulator*
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga, Rp	5.000.550.933
Kondisi Operasi	
Suhu,˚C	80
Tekanan, atm	1
Sifat Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 type II Grade 316*
Diameter (ID) Shell, m	2,4384
Tebal Shell, in	0,2020
Panjang, m	4,2672
Spesifikasi Khusus	
Kecepatan Pengaduk, rpm	20 - 14
Power Pengaduk, hp	60
Ukuran Produk (mm)	0,5 - 20
Jenis Coolant	Air
Kebutuhan Coolant, kg/jam	315,3771

Luas Area Transfer Panas, m^2	6,9928
Spesifikasi Khusus	
Ud ($W/m^2.K$)	340,6957
Tebal Jaket, m	0,1875

d. *Pug Mill*

Tabel 3. 4 Spesifikasi *Pug Mill*

Kode:	G-01	
Fungsi:	Untuk mencampurkan bahan padat dan hasil *recycle* serta menyeragamkan size.	
Tipe:	*Horizontal Continuous Single-Shaft Pug Mill*	
Jumlah:	1 alat	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	80	°C
	353,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Stainless Steel grade 11 tipe 316*	
Diameter:	0,39	m
Panjang:	1,55	m
Speed:	40	rpm
Power:	30,76	Hp
Shaft Diameter:	0,75	in
Harga:	Rp. 558.048.353	

e. *Rotary Dryer*

Tabel 3. 5 Spesifikasi *Rotary Dryer*

Kode:	RD-01	
Fungsi:	Untuk mengeringkan granule NPK dengan udara panas secara kontinyu dengan aliran *co current*.	
Tipe:	*Direct contact rotary dryer, counter current*	
Jumlah:	1 alat	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	87,71785	°C
	360,8678	K
Spesifikasi		

Material:	*Carbon steel SA 515 Grade 55*	
Diameter:	2,0097	m
Panjang:	8,0391	m
Kemiringan:	26,6	°
Tinggi *flight*:	0,5024	m
Jumlah *flight*:	8	buah
Tebal *shell:*	0,375	in
Daya:	3,0092	Hp
Kecepatan putar:	7,4634	rpm
Harga:	Rp 2.365.687.334	

f. *Screener*

Tabel 3. 6 Spesifikasi *Screener*

Kode:	SC-01	
Fungsi:	Memisahkan produk keluaran *rotary dryer* yang berukuran lebih besar dan yang lebih kecil.	
Tipe:	*High Speed Vibrating Screen*	
Jumlah:	1 alat	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	87,71785	°C
	360,8678	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon steel SA 515 Grade 55*	
Luas area *screen*:	4,4	m
Spesifikasi		
Panjang *screen*:	2,1	m
Lebar belt:	2,1	°
Daya motor:	7,5	Hp
Harga:	Rp 538.352.529	

g. *Rotary Cooler*

Tabel 3. 7 Spesifikasi *Rotary Cooler*

Kode:	RC-01
Fungsi:	Untuk menurunkan suhu *granule* NPK dengan udara dingin secara kontinyu dengan aliran *co current*.
Tipe:	*Direct contact rotary cooler, counter current*
Jumlah:	1 alat

Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	35	°C
	308,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon steel SA 515 Grade 55*	
Diameter:	2,9337	m
Panjang:	11,7349	m
Kemiringan:	23,2	°
Tinggi *flight*:	0,7334	m
Jumlah *flight*:	12	buah
Tebal *shell:*	0,375	in
Daya:	6,4121	Hp
Kecepatan putar:	5,1129	rpm
Harga:	Rp 2.650.182.573	

h. *Coating Drum*

Tabel 3. 8 Spesifikasi *Coating Drum*

Kode:	X-01	
Fungsi:	Untuk memisahkan ukuran produk NPK antara *undersize, onsize, dan oversize.*	
Tipe:	*Rotary Drum*	
Jumlah:	1 alat	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Kondisi Operasi		
Suhu:	35	°C
	308,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon steel SA 515 Grade 55*	
Diameter:	2,1	m
Panjang:	4,2	m
Power:	30	Hp
Kecepatan putar:	9-15	rpm
Harga:	Rp 523.033.554	

i. *Cyclone*

Tabel 3. 9 Spesifikasi Cyclone

Kode:	CY-01

Fungsi:	Menangkap padatan yang terikut oleh udara dari *Rotary Dryer*.	
Tipe:	*Cyclone dust separator*	
Jumlah:	1 alat	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	62	°C
	335,05	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon steel SA 515 Grade 55*	
Diameter:	9,12	m
Panjang:	2,28	m
Power:	4,56	m
Kecepatan putar:	36,48	m
Harga:	Rp 98.479.121	

j. Separator

Tabel 3. 10 Spesifikasi Separator

Kode:	SP-01	
Fungsi:	Memisahkan fase uap *green ammonia* menuju R-01 dan G-02.	
Tipe:	Silinder vertikal	
Jumlah:	1 alat	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	-33	°C
	240	K
Spesifikasi *Shell*		
Panjang:	2,9240	m
Tebal:	0,25	in
Diameter luar:	0,771	m
Spesifikasi *Head*		
Tinggi:	0,0605	m
Tebal:	0,1875	in
Harga:	Rp218.482.491,62	

3.3.2 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Heater 1

Kode : HE-01

Fungsi : Menaikkan suhu produk Asam sulfat dari (T-02) menuju (R-01)

Jenis : *Double Pipe*

Tabel 3. 11 Spesifikasi *Heater* 1

Operating Condition			
Position	*Inner Pipe*	*Annulus*	
Fluid	*AS, more than 2 cP*	*Steam*	
Fluid type	*Cold*	*Hot*	
Temperature in C	30	160	
Temperature out C	122	160	
Pressure, atm	1	6,1	
Mechanical Design			
Inner Pipe		*Annulus*	
IPS, in	3	IPS, in	4
ID, in	3,068	ID, in	4,026
OD, in	3,5	OD, in	4,5
Surface Area, ft^2/ft	0,917	*Surface Area*, ft^2/ft	1,178
ΔP_{allow}, psi	0,018	ΔP_{allow}, psi	0,003
Hairpin, buah		1	
Panjang total, ft		24,794	
Luas transfer panas, ft^2		29,208	
$Rd_{min,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0014	
$Rd_{hitung,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0036	
Harga		Rp61.275.897,65	

b. Heater 2

Kode : HE-02

Fungsi : Menaikkan suhu produk Asam fosfat dari (T-03) menuju (R-01)

Jenis : *Double Pipe*

Tabel 3. 12 Spesifikasi *Heater* 2

Operating Condition		
Position	*Inner Pipe*	*Annulus*
Fluid	*AS, less than 2 cP*	*Steam*
Fluid type	*Cold*	*Hot*

Temperature in C	30	160	
Temperature out C	122	160	
Pressure, atm	1	6,1	
Mechanical Design			
Inner Pipe		*Annulus*	
IPS, in	3	IPS, in	4
ID, in	3,068	ID, in	4,026
OD, in	3,5	OD, in	4,5
Surface Area, ft^2/ft	0,917	*Surface Area*, ft^2/ft	1,178
ΔP_{allow}, psi	0,016	ΔP_{allow}, psi	0,011
Hairpin, buah		1	
Panjang total, ft		24,592	
Luas transfer panas, ft^2		28,970	
$Rd_{min,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0014	
$Rd_{hitung,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0048	
Harga		Rp61.275.897,65	

c. Heater 3

Kode : HE-03

Fungsi : Menaikkan suhu udara dari (BL-01) menuju (RD-01)

Jenis : *Double Pipe*

Tabel 3. 13 Spesifikasi *Heater* 3

Operating Condition			
Position	*Inner Pipe*	*Annulus*	
Fluid	*Gases*	*Steam*	
Fluid type	*Cold*	*Hot*	
Temperature in C	30	160	
Temperature out C	122	160	
Pressure, atm	1	6,1	
Mechanical Design			
Inner Pipe		*Annulus*	
IPS, in	3	IPS, in	4
ID, in	3,068	ID, in	4,026
OD, in	3,5	OD, in	4,5
Surface Area, ft^2/ft	0,917	*Surface Area*, ft^2/ft	1,178
ΔP_{allow}, psi	0,252	ΔP_{allow}, psi	0,010

Hairpin, buah	2
Panjang total, ft	55,130
Luas transfer panas, ft^2	64,943
$Rd_{min,}$ $hr.ft^2.F/Btu$	0,0014
$Rd_{hitung,}$ $hr.ft^2.F/Btu$	0,0082
Harga	Rp76.594.872,07

d. Cooler 1

Kode : CL-01

Fungsi : Menurunkan suhu udara dari *output* (R-01) menuju (G-01)

Jenis : *Double Pipe*

Tabel 3. 14 Spesifikasi *Cooler* 1

Operating Condition			
Position	*Inner Pipe*	*Annulus*	
Fluid	*Heavy Organic*	*Water*	
Fluid type	*Hot*	*Cold*	
Temperature in C	30	115	
Temperature out C	40	80	
Pressure, atm	1	1	
Mechanical Design			
Inner Pipe		*Annulus*	
IPS, in	2	IPS, in	3
ID, in	2,067	ID, in	3,068
OD, in	2,38	OD, in	3,5
Surface Area, ft^2/ft	0,622	*Surface Area*, ft^2/ft	0,917
ΔP_{allow}, psi	$2,566 \times 10^{-7}$	ΔP_{allow}, psi	1,307
Hairpin, buah		1	
Panjang total, ft		16,286	
Luas transfer panas, ft^2		15	
$Rd_{min,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0014	
$Rd_{hitung,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0030	
Harga		Rp39.391.648,49	

e. Heater 4

Kode : HE-01

Fungsi : Mengubah suhu bahan baku *green ammonia* sebelum masuk ke (R-01) dan (G-02).

Jenis : *Double Pipe*

Tabel 3. 15 Spesifikasi *Heater* 4

Operating Condition			
Position	*Inner Pipe*	*Annulus*	
Fluid	*Ammonia*	*Steam*	
Fluid type	*Cold*	*Hot*	
Temperature in C	-33	160	
Temperature out C	80	160	
Pressure, atm	1	6,1	
Mechanical Design			
Inner Pipe		*Annulus*	
IPS, in	3	IPS, in	4
ID, in	3	ID, in	4
OD, in	3,5	OD, in	4,5
Surface Area, ft^2/ft	0,917	*Surface Area*, ft^2/ft	1,178
ΔP_{allow}, psi	0,136	ΔP_{allow}, psi	0,073
Hairpin, buah		2	
Panjang total, ft		80	
Luas transfer panas, ft^2		73,360	
$Rd_{min,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0014	
$Rd_{hitung,}$ $hr.ft^2.F/Btu$		0,0159	
Harga		Rp76.594.872,07	

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

a. Silo Ammonium Sulfat (ZA)

Tabel 3. 16 Spesifikasi Silo Ammonium Sulfat

Kode:	S-01	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku $(NH_4)_2SO_4$	
Lama Penyimpanan:	14	hari
Fasa:	Padatan	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi

Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	
Tinggi Silo:	27,02	m
Diameter:	9,43	m
Tebal *Shell*:	1/4	in
Tinggi *Head Conical*:	8,15	m
Tebal *Head Conical*	3/4	in
Tebal *Head Flat*:	1/4	in
Harga:	Rp 229.784.616	

b. Silo Urea

Tabel 3. 17 Spesifikasi Silo Urea

Kode:	S-02	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku $CO(NH_2)_2$	
Lama Penyimpanan:	14	hari
Fasa:	Padatan	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	
Tinggi Silo:	27,02	m
Diameter:	9,43	m
Tebal *Shell*:	1/4	in
Tinggi *Head Conical*:	8,15	m
Tebal *Head Conical*	3/4	in
Tebal *Head Flat*:	1/4	in
Harga:	Rp 229.784.616	

c. Silo KCL

Tabel 3. 18 Spesifikasi Silo KCL

Kode:	S-03	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku KCl	
Lama Penyimpanan:	14	hari
Fasa:	Padatan	

Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	
Tinggi Silo:	27,02	m
Diameter:	9,43	m
Tebal *Shell*:	1/4	in
Tinggi *Head Conical*:	8,15	m
Tebal *Head Conical*	3/4	in
Tebal *Head Flat*:	1/4	in
Harga:	Rp 229.784.616	

d. Silo *Coating Powder*

Tabel 3. 19 Spesifikasi Silo *Coating Powder*

Kode:	S-04	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku Coating Powder	
Lama Penyimpanan:	8	jam
Fasa:	Padatan	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	25	°C
	299,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	
Tinggi Silo:	2	m
Diameter:	0,78	m
Tebal *Shell*:	0,5	in
Spesifikasi		
Tebal *Head*:	0,75	in
Harga:	Rp 61.275.897	

e. Silo Produk (Pupuk NPK)

Tabel 3. 20 Spesifikasi Silo Produk

Kode:	S-05	
Fungsi:	Menyimpan produk	
Lama Penyimpanan:	8	jam
Fasa:	Padatan	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*High Alloy Steel*, SA-240 *Grade S*	
Volume Produk:	217,8	m^3
Tinggi roduk:	14,3	m
Volume Bin:	27,3	m^3
Tinggi Bin:	8,7	m
Diameter:	5,9	m
Diameter *Flat Spot*:	0,15	m
Sudut *Conical*:	45	°
Tinggi tutup:	2,9	m
Tebal *Shell*:	3/16	in
Jumlah:	1	buah
Harga:	Rp 107.232.820	

f. Tangki *Green Ammonia*

Tabel 3. 21 Spesifikasi Tangki *Green Ammonia*

Kode:	T-01	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku *green ammonia*	
Lama Penyimpanan:	30	hari
Fasa:	Cair	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Thorisperical Head* dan *Head Thorisperical Bottom*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	14	atm
	204,74	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316	
Diameter:	18,3	m

Tinggi:	7,3	m
Jumlah *Course*:	4	Buah
Tebal *Shell Course* 1:	0,25	in
Tebal *Shell Course* 2:	0,25	in
Tebal *Shell Course* 3:	0,25	in
Tebal *Shell Course* 4:	0,1875	in
Tinggi *Head*:	0,87	m
Tebal *Head*:	4,875	in
Tinggi Total:	7,3	m
Tebal Isolator:	21,5	in
Jumlah:	1	buah
Harga:	Rp 20.385.178.094	

g. Tangki Asam Sulfat

Tabel 3. 22 Spesifikasi Tangki Asam Sulfat

Kode:	T-02	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku Asam Sulfat	
Lama Penyimpanan:	30	hari
Fasa:	Cair	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316	
Diameter:	13,7	m
Tinggi:	5,5	m
Jumlah *Course*:	3	Buah
Tebal *Shell Course* 1:	0,75	in
Tebal *Shell Course* 2:	0,625	in
Tebal *Shell Course* 3:	0,5	in
Tinggi *Head*:	1,4	m
Spesifikasi		
Tebal *Head*:	0,625	in
Tinggi Total:	6,9	m
Jumlah:	1	buah
Harga:	Rp 20.385.178.094	

h. Tangki Asam Fosfat

Tabel 3. 23 Spesifikasi Tangki Asam Fosfat

Kode:	T-03	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku Asam Fosfat	
Lama Penyimpanan:	30	hari
Fasa:	Cair	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316	
Diameter:	15,2	m
Tinggi:	7,3	m
Jumlah *Course*:	4	Buah
Tebal *Shell Course* 1:	1	in
Tebal *Shell Course* 2:	0,875	in
Tebal *Shell Course* 3:	0,625	in
Tebal *Shell Course* 4:	0,4375	in
Tinggi *Head*:	2	m
Tebal *Head*:	0,625	in
Tinggi Total:	9,25	m
Jumlah:	1	buah
Harga:	Rp 20.385.178.094	

i. Tangki *Coating Oil*

Tabel 3. 24 Spesifikasi Tangki *Coating Oil*

Kode:	T-04	
Fungsi:	Menyimpan bahan baku *Coating Oil*	
Lama Penyimpanan:	30	hari
Fasa:	Cair	
Jenis Silo:	Silinder Vertikal dengan *Flat Bottom* dan *Head Conical Roof*	
Kondisi Operasi		
Tekanan:	1	atm
	14,6959	psi
Suhu:	30	°C
	303,15	K
Spesifikasi		
Material:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316	

Diameter:	4,6	m
Tinggi:	3,65	m
Jumlah *Course*:	2	Buah
Tebal *Shell Course* 1:	0,1875	in
Tebal *Shell Course* 2:	0,1875	in
Tinggi *Head*:	0,415	m
Tebal *Head*:	0,625	in
Tinggi Total:	4,073	m
Jumlah:	1	buah
Harga:	Rp 630.266.375	

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

a. Alat Transportasi Bahan Cair

1) Pompa 1

Tabel 3. 25 Spesifikasi Pompa 1

Kode:	P-01			
Fungsi:	Mengalirkan bahan baku NH_3 ke SP-01.			
Jenis Pompa:	*Centrifugal Single Stage Pump*			
Impeller:	*Mixed Flow Impellers*			
Bahan Konstruksi:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316			
Spesifikasi				
Viskositas:	0,381		cp	
Kapasitas:	2,484		m^3/jam	
Kecepatan Aliran:	1,047		ft/s	
Ukuran Pipa:	IPS		2	in
	Sch.Number		40	
	ID		2,067	in
	OD		2,38	in
	Flow Number Area		3,35	in^2
Dimensi Daya				
Friction Head:	0,025	ft		
Efisiensi Pompa:	40%			
Jenis Pompa:	*Differential Pressure*			
Daya Pompa:	31,032	watt	0,0416	Hp
Daya Motor:	62,141	watt	0,08	Hp

Kecepatan Putar:	2179,629	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

2) Pompa 2

Tabel 3. 26 Spesifikasi Pompa 2

Kode:	P-02			
Fungsi:	Mengalirkan bahan baku H_2SO_4 ke R-01.			
Jenis Pompa:	*Centrifugal Single Stage Pump*			
Impeller:	*Mixed Flow Impellers*			
Bahan Konstruksi:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316			
Spesifikasi				
Viskositas:	20,212		cp	
Kapasitas:	1,934		m^3/jam	
Kecepatan Aliran:	0,815			ft/s
Ukuran Pipa:	IPS		2	in
	Sch.Number		40	
	ID		2,067	in
	OD		2,38	in
	Flow Number Area		3,35	in^2
Dimensi Daya				
Friction Head:	0,025	ft		
Efisiensi Pompa:	40%			
Jenis Pompa:	*Differential Pressure*			
Daya Pompa:	61,327	watt	0,082	Hp
Daya Motor:	93,212	watt	0,13	Hp
Kecepatan Putar:	2060,902	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

3) Pompa 3

Tabel 3. 27 Spesifikasi Pompa 3

Kode:	P-03
Fungsi:	Mengalirkan bahan baku H_3PO_4 ke R-01.
Jenis Pompa:	*Centrifugal Single Stage Pump*
Impeller:	*Mixed Flow Impellers*

Bahan Konstruksi:	*Stainless Steel grade* 11 tipe 316			
Spesifikasi				
Viskositas:	23,137		cp	
Kapasitas:	2,764		m^3/jam	
Kecepatan Aliran:	1,165		ft/s	
Ukuran Pipa:	IPS		2	in
	Sch.Number		40	
	ID		2,067	in
	OD		2,38	in
	Flow Number Area		3,35	in^2
Dimensi Daya				
Friction Head:	0,025	ft		
Efisiensi Pompa:	40%			
Jenis Pompa:	*Differential Pressure*			
Daya Pompa:	162,082	watt	0,217	Hp
Daya Motor:	248,567	watt	0,33	Hp
Kecepatan Putar:	1450,067	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

4) Pompa 4

Tabel 3. 28 Spesifikasi Pompa 4

Kode:	P-04		
Fungsi:	Mengalirkan output R-01 ke G-02.		
Jenis Pompa:	Centrifugal Single Stage Pump		
Impeller:	Mixed Flow Impellers		
Bahan Konstruksi:	Stainless Steel grade 11 tipe 316		
Spesifikasi			
Viskositas:	0,174	cp	
Kapasitas:	8,655	m^3/jam	
Spesifikasi			
Kecepatan Aliran:	3,649	ft/s	
Ukuran Pipa:	IPS	2	in
	Sch.Number	40	
	ID	2,067	in
	OD	2,38	in
	Flow Number Area	3,35	in^2

Dimensi Daya				
Friction Head:	0,025	ft		
Efisiensi Pompa:	40%			
Jenis Pompa:	Differential Pressure			
Daya Pompa:	347,716	watt	0,466	Hp
Daya Motor:	559,275	watt	0,75	Hp
Kecepatan Putar:	2151,956	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

5) Pompa 5

Tabel 3. 29 Spesfikasi Pompa 5

Kode:	P-05		
Fungsi:	Mengalirkan bahan baku *coating oil* (T-04) ke *coating drum* (X-01).		
Jenis Pompa:	*Centrifugal Single Stage Pump*		
Impeller:	*Mixed Flow Impellers*		
Bahan Konstruksi:	*Stainless Steel grade 11 tipe 316*		
Spesifikasi			
Viskositas:	45,546	cp	
Kapasitas:	2,015	m^3/jam	
Spesifikasi			
Kecepatan Aliran:	0,172	ft/s	
Ukuran Pipa:	IPS	2	in
	Sch.Number	40	
	ID	2,067	in
	OD	2,38	in
	Flow Number Area	3,35	in^2
Dimensi Daya			
Friction Head:	0,025	ft	
Efisiensi Pompa:	40%		
Jenis Pompa:	Differential Pressure		
Daya Pompa:	23,990	watt	0,032	Hp
Daya Motor:	37,285	watt	0,05	Hp
Kecepatan Putar:	2.380,660	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

6) Pompa 6

Tabel 3. 30 Spesifikasi Pompa 6

Kode:	P-06			
Fungsi:	Mengalirkan output SP-01 menuju *expansion valve.*			
Jenis Pompa:	*Centrifugal Single Stage Pump*			
Impeller:	*Mixed Flow Impellers*			
Bahan Konstruksi:	*Stainless Steel grade 11 tipe 316*			
Spesifikasi				
Viskositas:	0,427		cp	
Kapasitas:	0,919		m^3/jam	
Spesifikasi				
Kecepatan Aliran:	0,388		ft/s	
Ukuran Pipa:	IPS		2	in
	Sch.Number		40	
	ID		2,067	in
	OD		2,38	in
	Flow Number Area		3,35	in^2
Dimensi Daya				
Friction Head:	0,025	ft		
Efisiensi Pompa:	40%			
Jenis Pompa:	Differential Pressure			
Daya Pompa:	13,281	watt	0,017	Hp
Daya Motor:	62,142	watt	0,08	Hp
Kecepatan Putar:	1.190,908	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

7) Pompa 7

Tabel 3. 31 Spesifikasi Pompa 7

Kode:	P-07
Fungsi:	Mengalirkan output R-01 ke R-02.
Jenis Pompa:	Centrifugal Single Stage Pump
Impeller:	Mixed Flow Impellers
Bahan Konstruksi:	Stainless Steel grade 11 tipe 316
Spesifikasi	

Viskositas:	0,174		cp	
Kapasitas:	8,655		m^3/jam	
Spesifikasi				
Kecepatan Aliran:	3,649		ft/s	
Ukuran Pipa:	IPS		2	in
	Sch.Number		40	
	ID		2,067	in
	OD		2,38	in
	Flow Number Area		3,35	in^2
Dimensi Daya				
Friction Head:	0,025	ft		
Efisiensi Pompa:	40%			
Jenis Pompa:	Differential Pressure			
Daya Pompa:	347,716	watt	0,466	Hp
Daya Motor:	559,275	watt	0,75	Hp
Kecepatan Putar:	2151,956	rpm		
Harga:	Rp 216.654.066			

b. Alat Transportasi Bahan Padat

1) *Belt Conveyor* 1

Tabel 3. 32 Spesifikasi *Belt Conveyor* 1

Kode:	BC-01	
Fungsi:	Mengangkut bahan baku urea menuju G-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	4,0708	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	24	in
Kecepatan:	7,631	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 374.220.660	

2) *Belt Conveyor* 2

Tabel 3. 33 Spesifikasi *Belt Conveyor* 2

Kode:	BC-02	
Fungsi:	Mengangkut bahan baku KCl menuju G-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	4,071	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	24	in
Spesifikasi		
Kecepatan:	7,631	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 374.220.660	

3) *Belt Conveyor* 3

Tabel 3. 34 Spesifikasi *Belt Conveyor* 3

Kode:	BC-03	
Fungsi:	Mengangkut bahan baku ZA padat menuju G-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	4,936	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	24	in
Kecepatan:	9,253	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 374.220.660	

4) *Belt Conveyor* 4

Tabel 3. 35 Spesifikasi *Belt Conveyor* 4

Kode:	BC-04	
Fungsi:	Mengangkut *output* G-01 menuju G-02.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	15,295	ton/jam

Panjang:	300	in
Lebar:	24	in
Kecepatan:	9,253	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 593.063.152	

5) *Belt Conveyor* 5

Tabel 3. 36 Spesifikasi *Belt Conveyor* 5

Kode:	BC-05	
Fungsi:	Mengangkut *output* G-02 menuju RD-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	25,747	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	42	in
Kecepatan:	14,334	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 704.672.823	

6) *Belt Conveyor* 6

Tabel 3. 37 Spesifikasi *Belt Conveyor* 6

Kode:	BC-06	
Fungsi:	Mengangkut output RD-01 menuju SC-01.	
Jenis:	Belt Conveyor	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	32,600	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	48	in
Kecepatan:	13,612	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 820.659.343	

7) *Belt Conveyor* 7

Tabel 3. 38 Spesifikasi *Belt Conveyor* 7

Kode:	BC-07	
Fungsi:	Mengangkut output SC-01 menuju RC-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	24,614	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	42	in
Kecepatan:	13,703	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 704.672.823	

8) *Belt Conveyor* 8

Tabel 3. 39 Spesifikasi *Belt Conveyor* 8

Kode:	BC-08	
Fungsi:	Mengangkut output SC-01 menuju G-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	4,923	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	24	in
Kecepatan:	9,229	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 374.220.660	

9) *Belt Conveyor* 9

Tabel 3. 40 Spesifikasi *Belt Conveyor* 9

Kode:	BC-09	
Fungsi:	Mengangkut output SC-01 menuju G-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	4,923	ton/jam

Panjang:	300	in
Lebar:	24	in
Kecepatan:	9,229	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 374.220.660	

10) *Belt Conveyor* 10

Tabel 3. 41 Spesifikasi *Belt Conveyor* 10

Kode:	BC-10	
Fungsi:	Mengangkut *output* RC-01 menuju X-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	86,343	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	60	in
Kecepatan:	22,032	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 1.054.820.809	

11) *Belt Conveyor* 11

Tabel 3. 42 Spesifikasi *Belt Conveyor* 11

Kode:	BC-11	
Fungsi:	Mengangkut *output* X-01 menuju S-01.	
Jenis:	*Belt Conveyor*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	1,937	ton/jam
Panjang:	300	in
Lebar:	18	in
Kecepatan:	6,555	ft/min
Power:	1,5	Hp
	2874,068	watt
Harga	Rp 271.364.689	

12) *Screw Conveyor* 1

Tabel 3. 43 Spesifikasi *Screw Conveyor* 1

Kode:	SR-01	
Fungsi:	Mengangkut *coating powder* dari S-04 menuju X-01.	
Jenis:	*Pipe-mounted sectional spiral flights.*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	5	ton/jam
Panjang:	900	in
Diameter of flights:	9	in
Diameter of shaft:	2	in
Diameter pipa:	2	in
Kecepatan:	40	rpm
Power:	2	Hp
	1491,4	watt
Harga	Rp 212.277.216	

13) *Screw Conveyor* 2

Tabel 3. 44 Spesifikasi *Screw Conveyor* 2

Kode:	SR-02	
Fungsi:	Mengangkut *output* dari CY-01 menuju UPL.	
Jenis:	*Pipe-mounted sectional spiral flights.*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	40	ton/jam
Panjang:	900	in
Diameter of flights:	16	in
Diameter of shaft:	3	in
Diameter pipa:	3	in
Kecepatan:	50	rpm
Power:	2	Hp
	1491,4	watt
Harga	Rp 363.278.536	

c. Alat Transportasi Bahan Gas

1) Blower 1

Tabel 3. 45 Spesifikasi Blower 1

Kode:	BL-01
Fungsi:	Mengalirkan udara ke HE-05
Jenis:	*Backward curve blade centrifugal blower*

Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	2899,844	ft^3/min
Densitas:	1,167	kg/m^3
Power:	0,75	Hp
	559,275	watt
Harga	Rp 161.943.443	

2) Blower 2

Tabel 3. 46 Spesifikasi Blower 2

Kode:	BL-02	
Fungsi:	Mengalirkan udara ke RC-01	
Jenis:	*Backward curve blade centrifugal blower*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	61789,737	ft^3/min
Densitas:	1,167	kg/m^3
Power:	15	Hp
	11185,5	watt
Harga	Rp 2.400.702.133	

3) Blower 3

Tabel 3. 47 Spesifikasi Blower 3

Kode:	BL-03	
Fungsi:	Mengalirkan *output* RD-01 ke CY-01	
Jenis:	*Backward curve blade centrifugal blower*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	629,963	ft^3/min
Densitas:	6,26	kg/m^3
Power:	20	Hp
	14914	watt
Harga	Rp 61.275897	

4) Blower 4

Tabel 3. 48 Spesifikasi Blower 4

Kode:	BL-04
Fungsi:	Mengalirkan *output* RC-01 ke CY-01
Jenis:	*Backward curve blade centrifugal blower*
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*
Spesifikasi	

Kapasitas:	51761,532	ft^3/min
Densitas:	1,39	kg/m^3
Power:	15	Hp
	11185,5	watt
Harga	2.002.408.798	

5) Blower 5

Tabel 3. 49 Spesifikasi Blower 5

Kode:	BL-05	
Fungsi:	Mengalirkan *output* RD-01 ke CY-01	
Jenis:	*Backward curve blade centrifugal blower*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	60986,955	ft^3/min
Densitas:	1,24	kg/m^3
Power:	15	Hp
	11185,5	watt

6) Blower 6

Tabel 3. 50 Spesifikasi Blower 6

Kode:	BL-06	
Fungsi:	Mengalirkan *output* SP-01 ke R-01 dan G-01	
Jenis:	*Backward curve blade centrifugal blower*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Kapasitas:	2.013,344	ft^3/min
Densitas:	0,59	kg/m^3
Power:	15	Hp
	11185,5	watt

7) Bag Filter 1

Tabel 3. 51 Spesifikasi *Bag Filter* 1

Kode:	BF-01	
Fungsi:	Sebagai alat pemisah antara partikel padatan dengan gas atau udara.	
Jenis:	*Shaker-cleaned filter*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Luas Permukaan:	438,914	ft^2
Diameter bag filter:	15,7480	In

Panjang bag filter:	118,1103	In
Kecepatan gas:	6,5616	ft/s
Harga:	Rp5.694.281.632,04	

8) Bag Filter 2

Tabel 3. 52 Spesifikasi *Bag Filter* 2

Kode:	BF-02	
Fungsi:	Sebagai alat pemisah antara partikel padatan dengan gas atau udara.	
Jenis:	*Shaker-cleaned filter*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Luas Permukaan:	9352,3672	ft^2
Diameter bag filter:	15,7480	In
Panjang bag filter:	118,1103	In
Kecepatan gas:	6,5616	ft/s
Harga:	Rp41.952.105.644,19	

9) Bag Filter 3

Tabel 3. 53 Spesifikasi *Bag Filter* 3

Kode:	BF-03	
Fungsi:	Sebagai alat pemisah antara partikel padatan dengan gas atau udara.	
Jenis:	*Shaker-cleaned filter*	
Bahan Konstruksi:	*Carbon steel SA-283 grade C*	
Spesifikasi		
Luas Permukaan:	9614,4424	ft^2
Diameter bag filter:	15,7480	In
Panjang bag filter:	118,1103	In
Kecepatan gas:	6,5616	ft/s
Harga:	Rp56.741.481.228,09	

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3. 54 Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg/jam)											Output (kg/jam)		
	<1>	<5>	<6>	<9>	<10>	<11>	<3>	<14>	<20>	<24>	<23>	<25>	<27>	<26>
NH3	1.982,59	-	-	-	-	-	644,34	-	-	-	-	-	-	-
H2SO4	-	2.857,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H3PO4	-	-	2.857,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(NH4)2SO4	-	-	-	2.857,26	-	-	-	-	-	-	-	6.690,74	12,82	2,26
NH4H2PO4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(NH4)2HPO4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.839,91	7,36	1,30
CH4N2O	-	-	-	-	2.857,26	-	-	-	-	-	-	2.850,84	5,46	0,96
KCL	-	-	-	-	-	2.857,26	-	-	-	-	-	2.850,84	5,46	0,96
H2O	13,38	57,15	942,61	28,57	14,29	28,57	6,69	155,35	2.457,85	-	-	160,70	-	3.537,07
Udara	-	-	-	-	-	-	-	5.710,33	104.900,61		-	-	-	127.385,85
C. Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,10	-	10,10	-	-
C. Powder	-		-	-			-	-	-	-	11,02	11,02	-	-
Subtotal	**1.995,97**	**2.914,41**	**3.799,87**	**2.885,84**	**2.871,55**	**2.885,84**	**651,03**	**5.865,68**	**107.358,46**	**10,10**	**11,02**	**16.414,14**	**31,09**	**130.928,41**
Total	**1130.598,73**											**130.598,73**		

3.4.2 Neraca Massa Separator (SP-01)

Tabel 3. 55 Neraca Massa Separator

Komponen	Input (kg/jam)	Input Recycle (kg/jam)	Output (kg/jam		
	Arus 1	Arus 4	Arus 2	Arus 4	Arus 3
NH_3	1.982,59	495,65	1.338,25	495,65	644,34
H_2O	13,38	3,35	6,69	3,35	6,69
Subtotal	**1.995,97**	**498,99**	**1.344,94**	**498,99**	**651,03**
Total	**2.494,97**		**2.494,97**		

3.4.3 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3. 56 Neraca Massa Reaktor 1

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	Arus 2	Arus 5	Arus 6	Arus 7
NH_3	1.338,25	-	-	208,00
H_2SO_4	-	2.857,26	-	685,84
H_3PO_4	-	-	2.857,26	685,84
$(NH_4)_2SO_4$	-	-	-	2.925,33
$NH_4H_2PO_4$	-	-	-	2.547,75
H_2O	6,69	57,15	942,61	1.006,45
Subtotal	**1.344,94**	**2.914,41**	**3.799,87**	**8.059,22**
Total	**8.059,22**			**8.059,22**

3.4.4 Neraca Massa Reaktor 2 (R-02)

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Arus 7	Arus 8
NH_3	208,00	-
H_2SO_4	685,84	285,73
H_3PO_4	685,84	385,73
$(NH_4)_2SO_4$	2.925,33	3.463,70
$NH_4H_2PO_4$	2.547,75	3.017,62
H_2O	1.006,45	1.006,45
Subtotal	**8.059,22**	**8.059,22**
Total	**8.059,22**	**8.059,22**

3.4.5 Neraca Massa Pug Mill (G-01)

Tabel 3. 57 Neraca Massa *Pug Mill*

Komponen	Input (kg/jam)			Input Recycle (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 9	**Arus 10**	**Arus 11**	**Arus 17**	**Arus 18**	**Arus 12**
$(NH_4)_2SO_4$	2.857,26	-	-	1.255,77	418,59	4.531,62
(NH4)2HPO4	-	-	-	720,70	240,23	960,94
CH_4N_2O	-	2.857,26	-	535,07	178,36	3.570,69
KCL	-	-	2.857,26	535,07	178,36	3.570,69
H_2O	28,57	14,29	28,57	30,16	10,05	111,65
Subtotal	**2.885,84**	**2.871,55**	**2.885,84**	**3.076,77**	**1.025,59**	**12.745,58**
Total	**12.745,58**					**12.745,58**

3.4.6 Neraca Massa Granulator (G-02)

Tabel 3. 58 Neraca Massa Granulator

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	Arus 8	**Arus 12**	**Arus 3**	**Arus 13**
NH_3	-	-	644,34	-
H_2SO_4	285,73	-	-	-
H_3PO_4	285,73	-	-	-
$(NH_4)_2SO_4$	3.463,70	4.531,62	-	8.380,18
$NH_4H_2PO_4$	3.017,62	-	-	-
(NH4)2HPO4	-	960,94	-	4.809,50
CH_4N_2O	-	3.570,69	-	3.570,69
KCL	-	3.570,69	-	3.570,69
H_2O	1.006,45	111,65	6,69	1.124,79
Subtotal	**8.059,22**	**12.745,58**	**651,03**	**21.455,83**
Total	**21.455,83**			**21.455,83**

3.4.7 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-01)

Tabel 3. 59 Neraca Massa *Rotary Dryer*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 13	**Arus 14**	**Arus 15**	**Arus 16**
$(NH_4)_2SO_4$	8.380,18	-	8,38	8.371,80
(NH4)2HPO4	4.809,50	-	4,81	4.804,69
CH_4N_2O	3.570,69	-	3,57	3.567,12
KCL	3.570,69	-	3,57	3.567,12
H_2O	1.124,79	155,35	923,71	201,08
Udara	-	5.710,33	5.710,33	-
Subtotal	**21.455,83**	**5.865,68**	**6.654,37**	**20.511,79**
Total	**27.321,52**		**27.321,52**	

3.4.8 Neraca Massa Screener (SC-01)

Tabel 3. 60 Neraca Massa *Screener*

Komponen	Input (kg/jam)	Outrput (kg/jam)		
	Arus 16	**Arus 19**	**Arus 17**	**Arus 18**
$(NH_4)_2SO_4$	8.371,80	6.697,44	1.255,77	418,59
(NH4)2HPO4	4.804,69	3.843,75	720,70	240,23
CH_4N_2O	3.567,12	2.853,69	535,07	178,36
KCL	3.567,12	2.853,69	535,07	178,36
H_2O	201,08	160,86	30,16	10,05
Subtotal	**20.511,79**	**16.409,44**	**3.076,77**	**1.025,59**
Total	**20.511,79**	**20.511,79**		

3.4.9 Neraca Massa Rotary Cooler (RC-01)

Tabel 3. 61 Neraca Massa *Rotary Cooler*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 19	**Arus 20**	**Arus 21**	**Arus 22**
$(NH_4)_2SO_4$	6.697,44	-	6,70	6.690,74
(NH4)2HPO4	3.843,75	-	3,84	3.839,91

CH_4N_2O	2.853,69	-	2,85	2.850,84
KCL	2.853,69	-	2,85	2.850,84
H_2O	160,86	2.457,85	2458,01	160,70
Udara	-	104.900,61	104.900,61	-
Subtotal	**16.409,44**	**107.358,46**	**107.374,87**	**16.393.,03**
Total	**123.767,89**		**123.767,89**	

3.4.10 Neraca Massa Coating Drum (X-01)

Tabel 3. 62 Neraca Massa *Coating Drum*

Komponen	**Input (kg/jam)**			**Output (kg/jam)**
	Arus 22	**Arus 24**	**Arus 23**	**Arus 25**
$(NH_4)_2SO_4$	6.690,74	-	-	6.690,74
(NH4)2HPO4	3.839,91	-	-	3.839,91
CH_4N_2O	2.850,84	-	-	2.850,84
KCL	2.850,84	-	-	2.850,84
H_2O	160,70	-	-	160,70
Coating Oil	-	10,10	-	10,10
Coating Powder	-	-	11,02	11,02
Subtotal	**16.393,03**	**10,10**	**11,02**	**16.414,14**
Total	**16.414,14**			**16.414,14**

3.4.11 Neraca Massa *Cyclone* (CY-01)

Tabel 3. 63 Neraca Massa *Cyclone*

Komponen	**Input (kg/jam)**		**Output (kg/jam)**	
	Arus 15	**Arus 21**	**Arus 26**	**Arus 27**
$(NH_4)_2SO_4$	8,38	6,70	12,82	2,26
(NH4)2HPO4	4,81	3,84	7,36	1,30
CH_4N_2O	3,57	2,85	5,46	0,96
KCL	3,57	2,85	5,46	0,96
H_2O	1.079,06	2.458,01	-	3.537,07
Udara	5.710,33	104.900,61	-	110.610,94

Subtotal	**6.809,72**	**107.374,87**	**31,09**	**114.153,50**
Total	**114.184,59**		**114.184,59**	

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Total

Tabel 3. 64 Neraca Panas Total

Alat	**Input**	**Output**
	Q in (kj/jam)	**Q out (kj/jam)**
Separator (SP-01)	188.901.928,87	188.901.928,87
Reaktor (R-01)	962.768,44	962.768,44
Pugmill (G-01)	735.554,09	735.554,09
Granulator (G-02)	2.030.078,06	2.030.078,06
Rotary Dryer (RD-01)	1.926.605,14	1.926.605,14
Screener (SC-01)	1.317.813,90	1.317.813,90
Rotary Cooler (RC-01)	1.073.002,83	1.073.002,83
Coating Drum (X-01)	0,35	0,35
Cyclone (CY-01)	628.785,29	628.785,29
Vaporizer (VAP-01)	891.242,25	891.242,25
Heater 1 (HE-01)	436.532,25	436.532,25
Heater 2 (HE-02)	866.422,22	866.422,22
Heater 3 (HE-03)	523.008,14	523.008,14
Heater 4 (HE-04)	333.020,20	333.020,20
Cooler 1 (CL-01)	1.333.193,91	1.333.193,91
Total	**12.725.006,87**	**12.725.006,87**

3.5.2 Neraca Panas Separator (SP-01)

Tabel 3. 65 Neraca Panas Separator

Komponen	**Input (kj/jam)**	**Komponen**	**Output (kj/jam)**
Fase cair	188.901.928,87	Fase cair	1.998.278,17
		Fase gas	186.903.650,70
Total	**188.901.928,87**	**Total**	**188.901.928,87**

3.5.3 Neraca Panas Reaktor (R-01)

Tabel 3. 66 Neraca Panas Reaktor

Komponen	**Input (kj/jam)**	**Komponen**	**Output (kj/jam)**
Gas dari T-01	156.389,54	Fluida keluaran R-01	774.885,71

Fluida dari T-02	415.142,28	Q pendingin	187.882,73
Fluida dari T-03	391.236,61		
Total	**962.768,44**	**Total**	**962.768,44**

3.5.4 Neraca Panas *Pug Mill* (G-01)

Tabel 3. 67 Neraca Panas *Pug Mill*

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Padatan dari S-01	20.614,19	Padatan keluaran G-01	735.554,0932
Padatan dari S-02	17.079,77		
Padatan dari S-03	10.396,20		
Padatan *Recycle* SC-01	197.672,09		
Padatan *Recycle* SC-01	65.890,70		
Q campuran	423.901,14		
Total	**735.554,0932**	**Total**	**735.554,0932**

3.5.5 Neraca Panas Granulator (G-02)

Tabel 3. 68 Neraca Panas Granulator

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Gas dari T-01	76.102,18	Padatan keluaran G-01	1.555.667,55
Fluida dari R-01	1.156.893,93	Q pendingin	474.410,52
Padatan dari G-01	797.081,96		
Total	**2.030.078,06**	**Total**	**2.030.078,06**

3.5.6 Neraca Panas *Rotary Dryer* (RD-01)

Tabel 3. 69 Neraca Panas *Rotary Dryer*

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Padatan dari G-02	1.555.667,55	Padatan keluaran RD-01	1.317.813,90
Udara	19.151,09	Udara keluaran RD-01	608.791,24
Q vap	351.786,50		
Total	**1.926.605,14**	**Total**	**1.926.605,14**

3.5.7 Neraca Panas *Screener* (SC-01)

Tabel 3. 70 Neraca Panas *Screener*

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Padatan dari RD-01	1.317.813,90	Padatan keluaran SC-01	1.054.251,12
		Padatan keluaran SC-01	65.890,70
		Padatan keluaran SC-01	197.672,09
Total	**1.317.813,90**	**Total**	**1.317.813,90**

3.5.8 Neraca Panas *Rotary Cooler* (RC-01)

Tabel 3. 71 Neraca Panas *Rotary Cooler*

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Padatan dari SC-01	1.054.251,12	Padatan keluaran RC-01	0,35
Udara	18.751,71	Udara keluaran RC-01	19.994,05
		Q loss	1.053.008,43
Total	**1.073.002,83**	**Total**	**1.073.002,83**

3.5.9 Neraca Panas *Coating Drum* (X-01)

Tabel 3. 72 Neraca *Coating Drum*

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Padatan dari RC-01	0,35	Padatan keluaran X-01	0,35
Total	**0,35**	**Total**	**0,35**

3.5.10 Neraca Panas *Cyclone* (CY-01)

Tabel 3. 73 Neraca Panas *Cyclone*

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Udara dari RD-01	608.791,24	Udara keluaran atas CY-01	19.994,05
Udara dari RC-01	19.994,05	Debu keluaran bawah CY-01	0,35
		Q *loss*	608.790,89
Total	**628.785,29**	**Total**	**628.785,29**

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

Tabel 3. 74 Neraca Panas *Heater* 1

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Q *in*	21.652,71	Q *out*	436.532,25
Q *steam*	414.879,54		
Total	**436.532,25**	**Total**	**436.532,25**

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

Tabel 3. 75 Neraca Panas *Heater* 2

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Q *in*	43.421,03	Q *out*	866.422,22
Q *steam*	823.001,19		
Total	**866.422,22**	**Total**	**866.422,22**

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

Tabel 3. 76 Neraca Panas *Heater* 3

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Q *in*	28.942,78	Q *out*	523.008,14
Q *steam*	494.065,35		
Total	**523.008,14**	**Total**	**523.008,14**

3.5.14 Neraca Panas *Heater* 4 (HE-04)

Tabel 3. 77 Neraca Panas *Heater* 4

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Q *in*	136.487,48	Q *out*	333.020,20
Q *steam*	196.532,72		
Total	**333.020,20**	**Total**	**333.020,20**

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

Tabel 3. 78 Neraca Panas *Cooler* 1

Komponen	Input (kj/jam)	Komponen	Output (kj/jam)
Q *in*	1.333.193,91	Q *out*	673.677,27
		Q pendingin	659.516,65
Total	**1.333.193,91**	**Total**	**1.333.193,91**

BAB IV PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan tahapan krusial dalam perancangan industri kimia karena memengaruhi kelangsungan operasional dan profitabilitas perusahaan. Penentuan lokasi yang tepat bertujuan untuk meminimalkan biaya produksi dan distribusi, serta menjamin kelancaran rantai pasok dari penyediaan bahan baku hingga pemasaran produk ke konsumen akhir. Sesuai dengan prinsip perancangan pabrik, keiteria pemilihan lokasi dikelompokkan menjadi dua faktor utama, yaitu faktor primer dan faktor sekunder.

Berdasarkan pertimbangan faktor-faktor tersebut, Pabrik Pupuk NPK dengan kapasitas 130.000 ton/tahun ini direncanakan akan didirikan di Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur.



Gambar 4. 1 Perencanaan Lokasi Pabrik Pupuk NPK

Dimana pertimbangan-pertimbangan yang diambil untuk lokasi ini adalah sebagai berikut:

4.1.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan faktor utama yang menetukan keberlanjutan proses produksi pabrik pupuk NPK. Lokasi Kecamatan Bungah dipilih karena memiliki keunggulan strategis berupa kedekatan geografis dengan PT Petrokimia Gresik, yang merupakan produsen dan pemasok bahan baku industri pupuk di Indonesia. Integrasi lokasi ini meminimalkan jarak angkut untuk material seperti Urea, *Ammonium Sulfate* (ZA), dan asam-asam proses. Dampak positif dari kedekatan ini berupa penurunan biaya penanganan bahan baku (*material hadling cost*), reduksi risiko keterlambatan pasokan (*lead time*), serta efisiensi biaya transportasi logistik masuk (*inbound logistics*).

4.1.2 Keterjangkauan Pemasaran Produk

Kabupaten Gresik terletak di koridor utama Jawa Timur yang memiliki aksesibilitas tinggi terhadap jalur transportasi darat (jalan tol dan jalan nasional) serta transportasi laut melalui pelabuhan. Letak geografis Kecamatan Bungah memudahkan distribusi produk pupuk NPK ke berbagai wilayah sentra pertanian dan perkebunan, baik tingkat regional Jawa Timur, nasional, maupun pasar ekspor. Kemudahan akses transportasi ini menjamin keterjangkauan produk di pasar sasaran secara cepat dan tepat waktu, sekaligus menekan biaya distribusi logistik keluar (*outbound logistics*) sehingga harga jual produk tetap kompetitif.

4.1.3 Utilitas dan Fasilitas Pendukung

Unit utilitas berfungsi sebagai sarana penunjang utama agar proses konversi dan seluruh operasional pabrik berjalan optimal. Industri pupuk NPK membutuhkan volume air yang besar untuk sistem pendingin (*cooling water*),

pembangkit uap (*boiled feed water*), dan konsumsi domestik, dimana kebutuhan air permukaan tersebut dapat terpenuhi sepanjang tahun karena Kcematan Bungah dilewati oleh aliran instalasi hilir Sungai Bengawan Solo. Unit kebutuhan energi listrik, operasional pabrik akan menggunakan pasokan dari jaringan industri tegangan menengah/tingi PT PLN (Persero) yang didukung oleh pemasnagan generator cadangan (*power plant* mandiri) guna menjaga kontinuitas kerja instrumen pabrik.

4.1.4 Sarana Transportasi

Infrastruktur transportasi yang memadai mutlak diperlukan untuk menjamin kelancaran mobilisasi tenaga kerja, pengiriman bahan baku, dan distribusi produk jadi tanpa kendala logistik. Lokasi pabrik di Kecamatan Bungah terhubung langsung oleh jaringan jalan nasional utama serta akses jalan tol Surabaya-Gresik-Manyar, dengan kondisi jalan yang lebar dan kokoh mampu menahan beban kendaraan berat seperti truk kontainer maupun truk tronton penumpuk hasil produksi. Di sisi lain, transportasi jalur laut didukung oleh keberadaan pelabuhan laut dalam di pesisir Gresik yang memungkinkan kapal-kapal kargo berkapasitas besar bersandar dengan aman untuk keperluan bongkar muat komoditas curah maupun pengemasan (*bagged product*). Tersedianya kombinasi moda transportasi darat dan laut yang variatif ini memberikan fleksibilitas tinggi bagi perusahaan dalam mencegah terjadinya kemacetan rantai pasok (*suplly chain bottleneck*).

4.1.5 Kondisi Geografis dan Sosial

Analisis mengenai kondisi lingkungan fisik, regulasi, dan kemasyarakatan di wilayah tapak pabrik Kecamatan Bungah adalah sebagai berikut:

a. Bencana Alam

Berdasarkan peta sismologi dan mitigasi bencana, wilayah Kecamatan Bungah memiliki struktur geologi yang relatif stabil dan risiko gempa bumi yang rendah karea berada di luar jalur cincin api aktif. Selain itu, penentuan elevasi tapak pabrik direncanakan berada di tasat tingkat banjir puncak tahunan Sungai Bengawan Solo, sehingga area operasional pabrik aman dari ancaman banjir.

b. Peraturan Pemerintah

Pendirian pabrik pupul NPK ini telah sesuai dengan Peraturan Daerah mengenai Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Gresik yang menetapkan kawasan Bungah-Manyar sebagai zona peruntukan industri (ZPI). Kesesuaian tata ruang ini menjamin legalitas jangka panjang, memberikan kemudahan dalam pengurusan perizinan penanaman modal, serta mempermudah penyusunan dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

c. Karakteristik Daerah dan Masyarakat

Kabupaten Gresik memiliki karakteristik sebagai kota industri yang didukung oleh ketersediaan tenaga kerja lokal dengan keterampilam industri yang baik pada berbagai tingkatan operasional. Masyarakat lokal umumnya bersifat terbuka dan adaptif terhadap perkembangan kawasan industri baru,

sejauh perusahaan memiliki komitmen nyata dalam penyerapan tenaga kerja setempat dan pelaksanaan program *Corporate Social Responsibility* (CSR).

d. Peluang Perluasan Pabrik

Kecamatan Bungah memiliki ketersediaan lahan daar yang luas dengan karakteristik tanah yang stabil dan bukan merupakan area rawa dalam. Kondisi topografi yang mendukung ini memberikan fleksibilitas tinggi bagi perusahaan untuk melakukan ekspansi fisik bangunan pabrik, menambah kapasitas gudang penyimpanan, maupun melakukan peningkatan kapasitas produksi (*de-bottlenecking*) di masa depan tanpa kendala keterbatasan lahan.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak atau *plant layout* merupakan tempat kedudukan dari keseluruhan bagian yang ada di pabrik. Tata letak pabrik meliputi fasilitas perkantoran atau administrasi, peralatan proses, tempat penyimpanan bahan baku dan produk, unit pendukung proses, fasilitas karyawan, serta area lain yang menunjang kegiatan produksi pabrik. Dalam pelaksanaannya untuk membuat sebuah tata letak pabrik atau *plant layout* harus memperhatikan keselamatan dan kenyamanan bagi karyawan supaya terpenuhi. Selain itu, dari penempatan alat-alat bangunan fisik lainnya seperti gudang, kantor, laboratorium, bengkel, dan lain-lain harus tersimpan di tempat yang efisien untuk bisa menjalankan sebuah industri lebih efektif, terutama ditinjau dari segi *loading* barang, kontrol, keamanan dan ekonomis. Secara garis besar, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa bagian utama yaitu sebagai berikut:

4.2.1 Daerah Administrasi dan Perkantoran

Daerah ini berfungsi sebagai pusat kendali manajemen, aktivitas bisnis, dan administrasi non-teknis pabrik. Daerah ini biasanya diletakkan pada bagian depan guna memudahkan akses bagi tamu, staf administratif, maupun keperluan koordinasi eksternal.

4.2.2 Daerah Proses

Daerah proses merupakan inti dari seluruh kegiatan pabrik. Area ini meliputi penempatan peralatan proses, area penyimpanan bahan baku dan produk, serta ruang pengendalian (*control room*) untuk memantau jalannya proses.

4.2.3 Daerah Instalasi dan Utilitas

Daerah ini merupakan penyokong utama kebutuhan operasional pabrik yang mencakup unit penyediaan air, pembangkit uap, gardu induk listrik, serta kompresor udara. Penempatan instalasi utilitas biasanya dirancang dekat dengan area proses guna meminimalkan kehilangan tekanan dan penurunan energi dalam pipa distribusi, namun tetap memperhatikan aspek keselamatan kerja.

4.2.4 Daerah Keamanan

Daerah keamanan mencakup pos penjagaan utama, pagar pembatas perimeter, dan jalur evakuasi darurat. Fasilitas ini disebar secara strategis di titik-titik krusial, terutama pada gerbang masuk dan keluar material.

4.2.5 Daerah Fasilitas Umum

Daerah ini disediakan untuk memenuhi kebutuhan sosial, ibadah, dan kesehatan seluruh karyawan pabrik. Area ini dibangin di zona netral yang mudah

dijangkau dari wilayah perkantoran maupun area produksi tanpa mengganggu jalur logistik utama.

4.2.6 Daerah Pengolahan Limbah

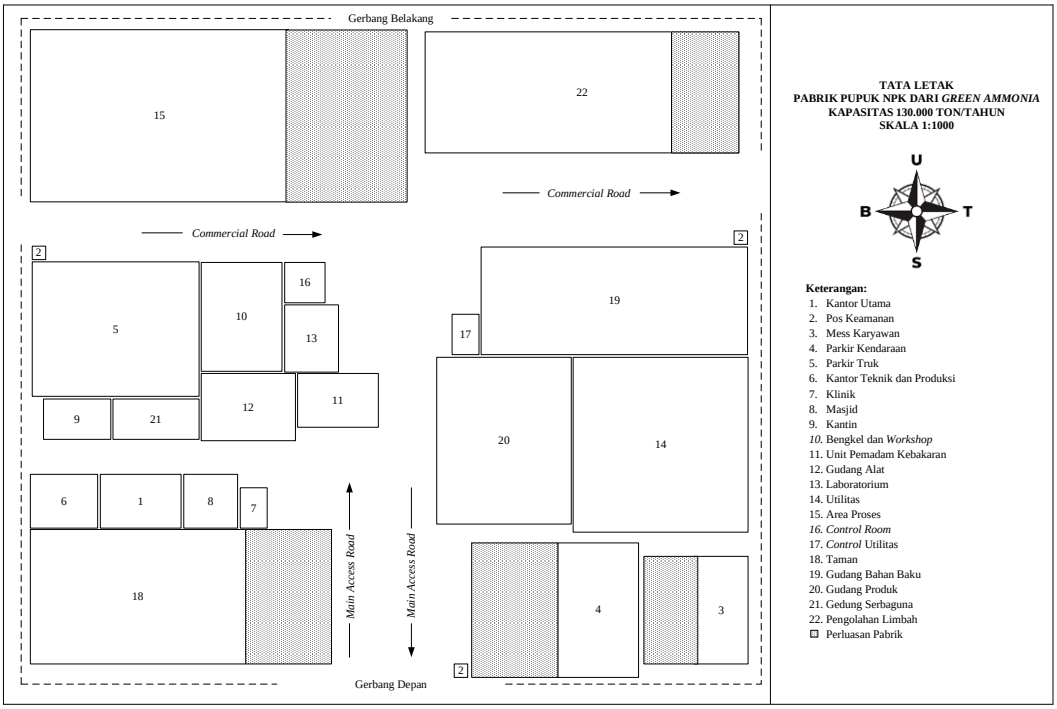
Daerah ini dialokasikan khusus untuk Unit Pengolahan Limbah (UPL) guna mengolah buangan proses sebelum dialirkan ke lingkungan luar. Pengolahan limbah dilakukan sesuai dengan ketentuan dan standar lingkungan yang berlaku. Area ini dirancang untuk meminimalkan dampak negatif limbah terhadap lingkungan sekitar.

Perincian luas tanah dan bangunan pabrik, dijelaskan pada tabel 4.1:

Tabel 4. 1 Rincian Luas Bangunan dan Tanah

No	Area	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)
1	Kantor Utama	30	20	600
2	Pos Keamanan	4	4	16
3	*Mess*	40	20	800
4	Parkir kendaraan	50	30	1.500
5	Parkir Truk	62	50	3.100
6	Kantor Teknik dan Produksi	25	20	500
7	Klinik	15	10	150
8	Masjid	20	20	400
9	Kantin	25	15	375
10	Bengkel dan*Workshop*	40	30	1.200
11	Unit Pemadaman Kebakaran	30	20	600
12	Gudang Alat	35	25	875
13	Laboratorium	25	20	500
14	Utilitas	56,23	56,23	3.161
15	Area Proses	93,63	62,42	5.844
16	*Control Room*	15	15	225
17	*Control* Utilitas	15	10	150
18	Taman	80	50	4.000
19	Gudang Bahan Baku	99	40	3,960
20	Gudang Produk	62	50	3.100
21	Gedung Serbaguna	32	15	480
22	Pengolahan Limbah	70	45	3.150
23	Perluasan Pabrik	100	80	8.000

No	Area	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)
24	Jalan	100	80	8.000
Luas Total (m^2)				50.686,42
Luas Tanah (m^2)				60.823,70



Gambar 4. 2 *Layout* Pabrik Pupuk NPK

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

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Jalannya aliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar, serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi. Aliran yang efisien dapat meminimalkan waktu dan biaya transportasi internal, serta mengurangi risiko kontaminasi atau kerusakan produk. Selain itu, penataan alur yang baik juga mempermudah pengawasan dan pengendalian mutu selama proses berlangsung.

4.3.2 Aliran Udara

Sirkulasi udara di dalam maupun di sekitar area proses harus diperhatikan agar tetap lancar. Keberadaan aliran udara dan sistem ventilasi yang memadai di area tersebut penting untuk mencegah terjadinya penumpukan udara di titik-titik tertentu yang berpotensi menjadi tempat akumulasi zat kimia berbahaya, yang dapat mengancam keselamatan para pekerja.

4.3.3 Pencahayaan

Penerangan seluruh pabrik harus memadai dan pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau berisiko tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Dalam merancang tata letak peralatan proses, penting untuk memastikan bahwa seluruh peralatan dapat dijangkau dengan cepat dan mudah oleh operator, sehingga penanganan gangguan dapat dilakukan secara efisien. Di samping itu, aspek keselamatan kerja harus menjadi prioritas utama dalam penataan tersebut guna mendukung kenyamanan dan keamanan selama operasional berlangsung.

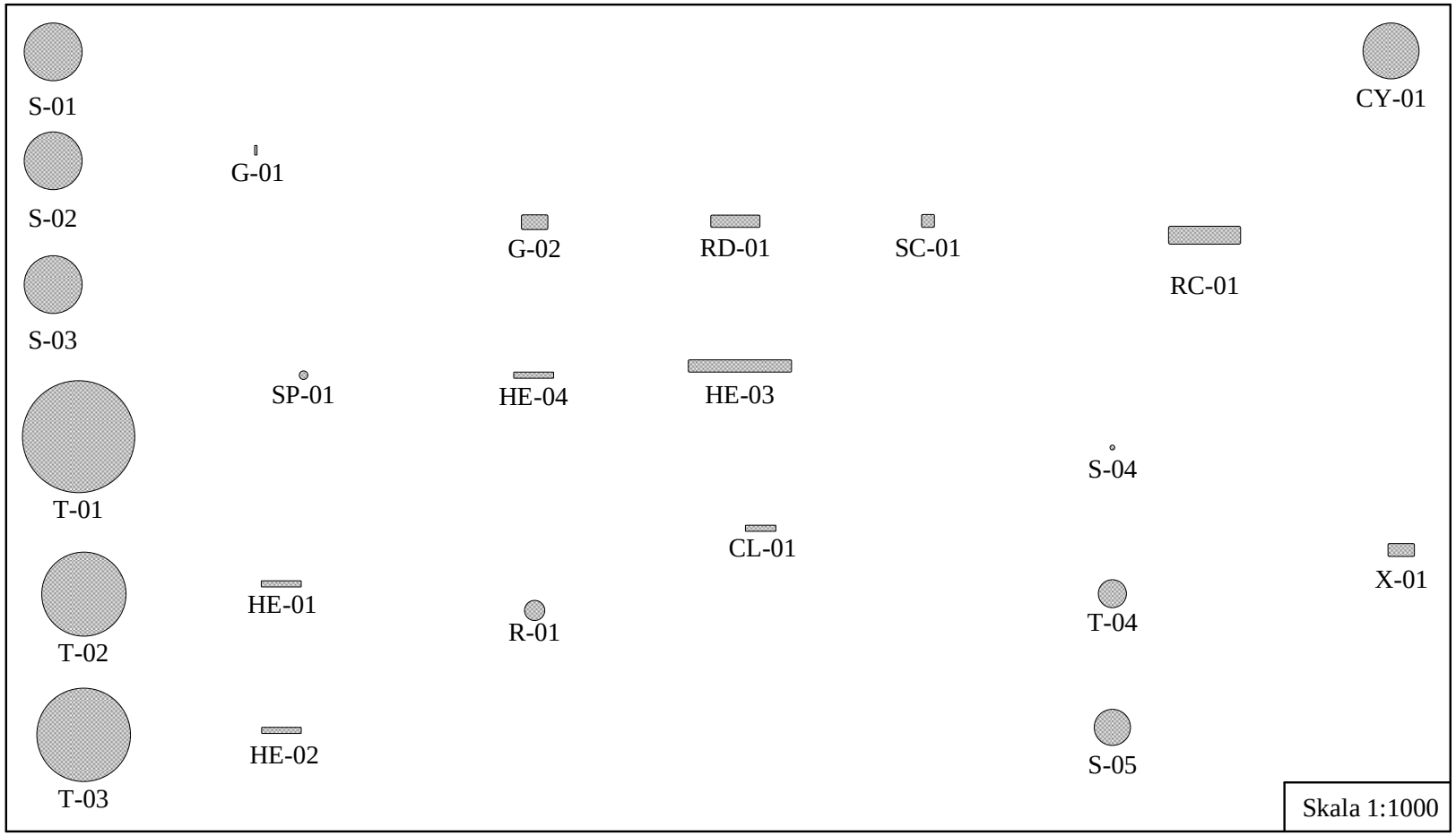
4.3.5 Maintenance

Maintenance berperan penting dalam menjaga sarana dan fasilitas peralatan di pabrik melalui kegiatan pemeliharaan dan perbaikan, sehingga proses produksi dapat berlangsung dengan baik dan tingkat produktivitas tetap tinggi. Hal ini memungkinkan pencapaian target produksi serta kesesuaian spesifikasi bahan baku yang diinginkan. Perawatan preventif dilakukan setiap hari guna mencegah kerusakan alat dan menjaga kebersihan area sekitar peralatan. Sementara itu,

perawatan periodik dilakukan secara rutin sesuai jadwal dan petunjuk teknis yang tersedia.

4.3.6 Jarak Antara Alat Proses

Jarak antar alat proses merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan tata letak pabrik yang bertujuan untuk memastikan kelancaran alur produksi, efisiensi perpindahan material, serta keselamatan kerja. Penentuan jarak ini harus mempertimbangkan kemudahan akses, ruang gerak operator, kemungkinan ekspansi, serta faktor keamanan seperti suhu, tekanan, dan potensi bahaya dari masing-masing unit operasi. Dengan pengaturan jarak yang tepat, diharapkan proses produksi dapat berjalan lebih optimal dan risiko gangguan dapat diminimalkan.



Keterangan	
S	Silo
T	Tangki
R	Reaktor
G-01	*Pug Mill*
G-02	Granulator
RD	*Rotary Dryer*
SC	*Screener*
RC	*Rotary Cooler*
X	*Coating Drum*
CY	*Cyclone*
HE	*Heater*
CL	*Cooler*
SP	Separator

Gambar 4. 3 *Layout* Alat Proses Pabrik Pupuk NPK

4.4 Struktur Organisasi

Dalam menjalankan sebuah perusahaan, diperlukan sumber daya manusia yang kompeten serta sistem manajemen atau organisasi dengan pembagian tugas dan wewenang yang jelas. Struktur organisasi suatu perusahaan dapat disesuaikan dengan bentuk dan kebutuhannya masing-masing. Struktur organisasi yang efektif terbentuk dari sistem manajemen yang baik dan membantu dalam pengaturan serta pembagian posisi, tugas, kedudukan, wewenang, dan tanggung jawab di setiap divisi dalam perusahaan. Jabatan dalam perusahaan disusun secara hierarkis, dimulai dari tingkat tertinggi. Secara umum, terdapat dua bentuk struktur organisasi yang umum digunakan, yaitu sistem garis (*line*) dan staf. Kedua kelompok utama dalam:

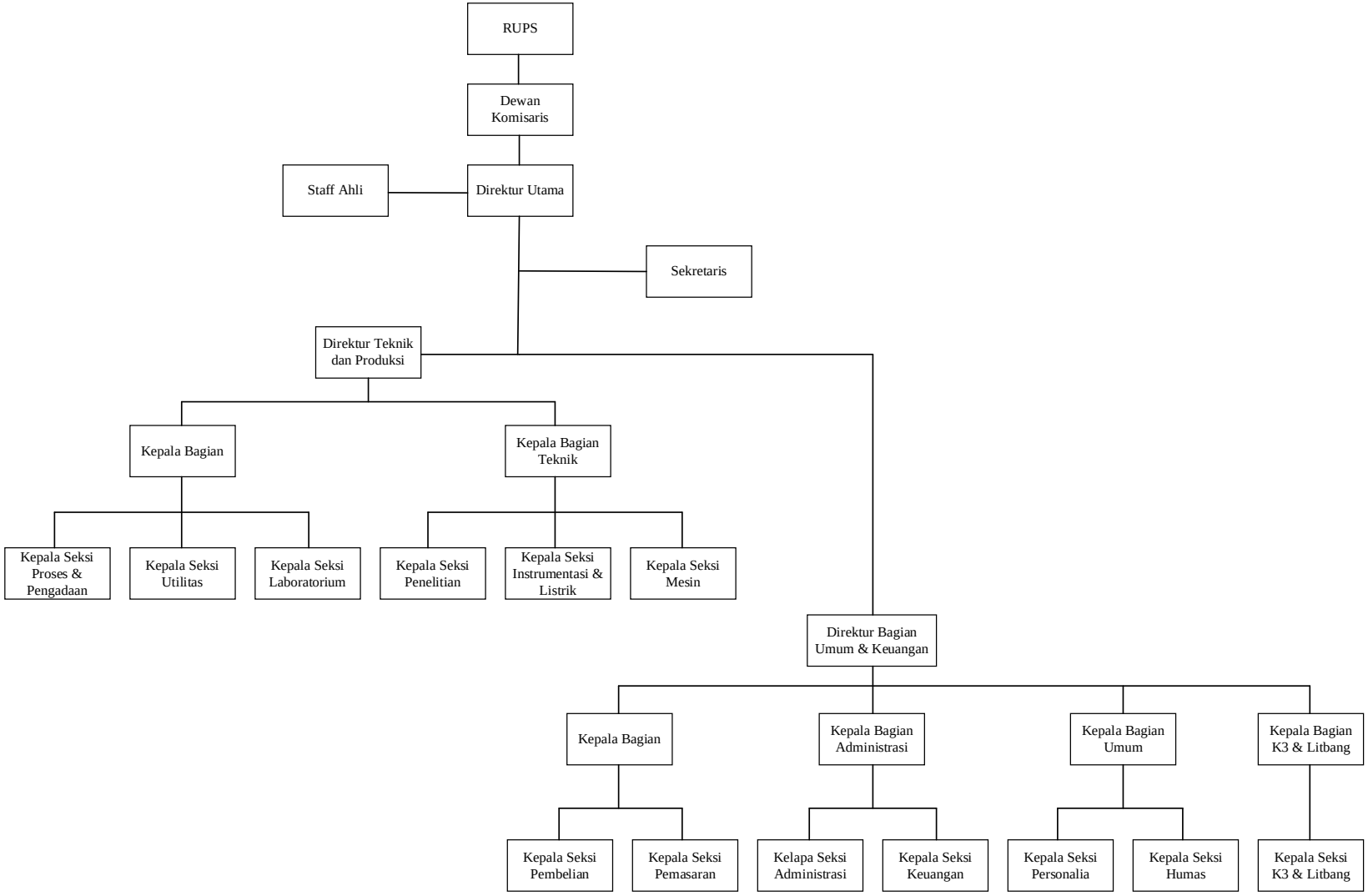
a. Garis (*line*) merupakan kelompok yang menjalankan tugas utama organisasi untuk mencapai tujuan perusahaan.
b. Staf merupakan kelompok yang bertugas memberikan saran dan dukungan berdasarkan keahlian mereka kepada unit operasional.

Pemegang saham sebagai pemilik perusahaan diwakili oleh Dewan Komisaris dalam pelaksanaan tugasnya. Sementara itu, operasional perusahaan dijalankan oleh Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi serta Direktur Administrasi, Keuangan, dan Umum. Dimana Direktur Produksi membawahi bidang produksi, proses, pengendalian, utilitas dan pemeliharaan. Sedangkan Direktur Administrasi, Keuangan dan Umum membawahi bidang pembelian, pemasaran, administrasi dan keuangan, personalia, humas dan keamanan serta penelitian dan pengembangan. Setiap direktur membawahi kepala bagian yang

bertanggung jawab atas divisi masing-masing. Kepala bagian ini mengawasi beberapa seksi yang kemudian membawahi karyawan dalam kelompok kerja yang dipimpin oleh kepala regu. Kepala regu bertanggung jawab kepada pengawas seksi.

Agar proses produksi berjalan lancar, diperlukan staf ahli yang memiliki keahlian di bidangnya masing-masing. Staf ahli bertugas memberikan saran dan masukan kepada pengawas untuk memastikan pencapaian tujuan perusahaan. Manfaat dari adanya struktur organisasi ini meliputi:

a. Menjelaskan batasan tugas, tanggung jawab, dan wewenang.
b. Sebagai pedoman bagi pejabat perusahaan.
c. Memastikan penempatan pegawai sesuai dengan keahliannya.
d. Membantu dalam perencanaan pengembangan manajemen.
e. Mengatur ulang langkah kerja serta prosedur jika terbukti kurang efektif atau tidak memenuhi standar.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan Pabrik Pupuk NPK

4.5 Tugas dan Wewenang

4.5.1 Pemegang Saham

Pemegang saham adalah pemberi modal perusahaan dengan membeli surat berharga perusahaan (saham). Dalam struktur Perseroan Terbatas (PT), badan tertinggi yang memegang kendali adalah Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). RUPS diadakan minimal satu kali dalam setahun dan memiliki wewenang penting dalam pengambilan keputusan strategis perusahaan. Beberapa tugas dan wewenang utama pemegang saham melalui RUPS antara lain:

a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris serta Direksi.
b. Mengesahkan laporan neraca, perhitungan laba rugi, dan hasil usaha tahunan perusahaan.
c. Meminta pertanggung jawaban dari Dewan Komisaris.
d. Mengesahkan perubahan komposisi pemegang saham apabila ada yang mengundurkan diri berdasarkan hasil musyawarah.
e. Menetapkan penggunaan keuntungan tahunan, baik untuk dibagikan kepada pemegang saham, disimpan, maupun ditanamkan kembali.

Dengan membeli saham, pemegang saham menjadi pemilik perusahaan sekaligus pemberi modal. Mereka memiliki hak untuk mengawasi jalannya perusahaan melalui RUPS dan memastikan keputusan yang diambil sejalan dengan kepentingan bersama demi keberlangsungan dan perkembangan perusahaan.

4.5.2 Dewan Komisaris

Dewan Komisaris merupakan perwakilan pemegang saham yang bertugas memastikan pelaksanaan kebijakan perusahaan berjalan sesuai dengan arahan yang

telah ditetapkan. Sebagai pihak yang bertanggung jawab langsung kepada pemegang saham, Dewan Komisaris memiliki sejumlah tugas dan wewenang penting, antara lain:

a. Mengevaluasi dan menyetujui rencana yang diajukan oleh Direksi terkait kebijakan umum, penetapan target perusahaan, alokasi sumber pendanaan, serta arah pemasaran.
b. Mengawasi pelaksanaan tugas Direksi, termasuk memastikan bahwa aktivitas perusahaan berjalan sesuai dengan kebijakan yang telah disepakati.
c. Membantu Direktur Utama dalam menangani berbagai hal yang bersifat strategis dan penting.

Dewan Komisaris dipilih melalui Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) yang menjadi wadah utama bagi pemegang saham dalam mengambil keputusan strategis. Dengan demikian, Dewan Komisaris memegang peran kunci dalam menjaga tata kelola perusahaan yang baik, memastikan akuntabilitas, dan mendukung pencapaian tujuan perusahaan.

4.5.3 Direktur Utama

Direktur Utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan yang bertanggung jawab penuh atas keberhasilan dan perkembangan perusahaan. Sebagai pemimpin utama, Direktur Utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris dan pemegang saham atas segala tindakan dan kebijakan yang diambil selama masa jabatannya. Tugas dan wewenang Direktur Utama meliputi:

a. Memimpin dan mengembangkan perusahaan secara efektif dan efisien.

b. Merumuskan serta melaksanakan kebijakan umum perusahaan sesuai arahan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).
c. Menjaga stabilitas organisasi dan membangun hubungan yang baik antara pemegang saham, pimpinan, karyawan, dan konsumen.
d. Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan RUPS.
e. Mengkoordinasikan kerja sama dengan Direktur Teknik dan Produksi serta Direktur Keuangan dan Umum.
f. Mengusulkan kerja sama dengan pihak eksternal demi kepentingan perusahaan.
g. Mewakili perusahaan dalam menjalin hubungan atau perjanjian dengan pihak ketiga.

Dalam melaksanakan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh beberapa direktorat dan staf pendukung, yaitu:

1) Sekertaris

Diangkat oleh Direktur Utama untuk menangani masalah surat-menyurat, kearsipan, dan pekerjaan administratif lainnya guna mendukung kelancaran administrasi perusahaan.

2) Direktorat Teknik dan Produksi

Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama. Tugas utama direktorat ini adalah merumuskan kebijakan teknis operasional serta memastikan keberlangsungan operasi pabrik. Direktorat Teknik dan Produksi membawahi beberapa bagian, yaitu Bagian Proses dan Utilitas,

Bagian Pemeliharaan, Listrik dan Instrumentasi, dan Bagian Penelitian, Pengembangan dan Pengendali Mutu.

3) Direktorat Keuangan dan Pemasaran

Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama. Tugasnya meliputi penyusunan dan pengalokasian anggaran, pengelolaan keuangan, pelaksanaan kebijakan pemasaran. Direktorat Keuangan dan Pemasaran membawahi beberapa bagian, yaitu Bagian Keuangan dan Bagian Pemasaran.

4) Direktorat Sumber Daya Manusia dan Umum

Berwenang dalam mengelola administrasi, humas, keamanan, keselamatan kerja, serta aspek personalia perusahaan. Direktorat Sumber Daya Manusia dan Umum membawahi beberapa bagian, yaitu Bagian K3 (Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan), Bagian Umum dan Keamanan, dan Bagian Administrasi, dan Sumber Daya Manusia.

5) Staf Ahli

Memberikan saran, nasihat, dan pandangan terhadap berbagai aspek operasional perusahaan. Dengan struktur yang jelas dan pembagian tugas yang terorganisasi, Direktur Utama memegang kendali penuh dalam memastikan perusahaan berjalan sesuai dengan visi dan misi yang telah ditetapkan, serta menjaga akuntabilitas kepada Dewan Komisaris dan pemegang saham.

4.5.4 Kepala Bagian

Secara umum, tugas Kepala Bagian adalah mengoordinasikan, mengatur,

dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan arahan pimpinan perusahaan. Kepala Bagian juga dapat bertindak sebagai staf direktur dan bertanggung jawab kepada direktur masing-masing. Adapun Kepala Bagian terdiri dari:

1) Kepala Bagian Proses dan Utilitas

   Bertugas mengoordinasikan kegiatan pabrik dalam bidang proses serta penyediaan bahan baku dan utilitas untuk memastikan kelancaran produksi. Kepala Bagian ini membawahi Seksi Proses dan Utilitas.

2) Kepala Bagian Perencanaan dan Pengendalian Pemeliharaan

   Bertanggung jawab menjaga dan mengatur jumlah pasokan listrik agar selalu mencukupi kebutuhan pabrik serta melakukan uji kelayakan secara rutin terhadap setiap instrumen dalam area pabrik. Kepala Bagian ini membawahi Seksi Pemeliharaan dan Bengkel serta Seksi Listrik dan Instrumentasi.

3) Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan, dan K3

   Bertugas mengatur dan mengawasi semua kegiatan perusahaan yang berhubungan dengan penelitian, pengembangan, serta Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan (K3). Kepala Bagian ini membawahi Seksi K3 dan Seksi Litbang.

4) Kepala Bagian Keuangan

   Bertugas menghitung dan mencatat keluar masuknya dana perusahaan serta memastikan pengelolaan keuangan berjalan dengan baik.

Kepala Bagian ini membawahi Seksi Keuangan, Pelaporan Keuangan & Manajemen, serta Seksi Akuntansi Biaya.

5) Kepala Bagian Pemasaran

Bertanggung jawab mengatur dan mengawasi kegiatan perusahaan yang berhubungan dengan pembelian bahan baku serta pemasaran produk. Kepala Bagian ini membawahi Seksi Pembelian dan Seksi Pemasaran.

6) Kepala Bagian Umum

Bertugas mengatur kegiatan penunjang dalam perusahaan, seperti menjaga kebersihan kantor, keamanan, serta aspek operasional lainnya. Kepala Bagian ini membawahi Seksi Pelayanan Umum dan Seksi Keamanan.

7) Kepala Bagian Sumber Daya Manusia

Bertanggung jawab menjaga kualitas sumber daya manusia (SDM) dalam perusahaan melalui pelatihan kerja yang berkelanjutan. Setiap Kepala Bagian memiliki tanggung jawab kepada Direktur Utama dan secara umum bertugas untuk mengatur, mengawasi, dan mengkoordinasikan pelaksanaan kerja sesuai dengan bidangnya masing-masing.

4.6 Pengaturan Jam Kerja

4.6.1 Karyawan *non-Shift*

Karyawan non-shift adalah karyawan yang tidak terlibat langsung dalam proses produksi. Kelompok ini mencakup jajaran direktur, sekretaris, kepala bagian, staf ahli, serta seluruh pegawai yang tugasnya berada di kantor. Karyawan

non-shift bekerja selama 5 hari dalam seminggu dengan total waktu kerja 40 jam per minggu. Hari Sabtu, Minggu, dan hari besar nasional ditetapkan sebagai hari libur. Berikut adalah rincian jam kerja karyawan non-shift:

Tabel 4. 2 Rincian Jam Kerja

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

4.6.2 Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* adalah karyawan yang secara langsung terlibat dalam proses produksi atau bertugas mengelola bagian-bagian penting di pabrik yang berkaitan erat dengan aspek keamanan serta kelancaran operasional. Karena sifat pekerjaannya yang krusial dan tidak dapat ditinggalkan, karyawan shift diharuskan bekerja secara bergantian selama 24 jam penuh. Golongan karyawan shift mencakup operator produksi, sebagian personel dari divisi teknik, bagian gudang, unit utilitas, pengendalian proses, laboratorium, serta petugas keamanan yang bertugas menjaga keselamatan dan keamanan pabrik selama proses berlangsung. Untuk sistem kerja dibagi menjadi 3 shift dalam sehari semalam. Pengaturan waktu kerja masing-masing shift diatur secara bergiliran untuk memastikan seluruh kegiatan produksi dan penunjangnya tetap berjalan dengan aman dan efisien sepanjang hari.

Tabel 4. 3 Rincian Jam Kerja Masing-masing *Shift*

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

Pelaksanaan kerja *shift* dibagi ke dalam 4 kelompok kerja (A, B, C, dan D), dimana dalam satu hari kerja hanya 3 kelompok yang aktif bekerja, sementara 1 kelompok mendapat giliran libur. Setiap kelompok akan mendapatkan giliran 3 hari kerja dan satu hari libur untuk setiap shift dan masuk lagi untuk shift berikutnya. Pada hari libur nasional atau hari besar keagamaan yang telah ditetapkan oleh pemerintah, kelompok yang mendapat jadwal bertugas tetap diwajibkan masuk kerja. Namun, pekerjaan pada hari tersebut dihitung sebagai lembur dan akan mendapatkan insentif tambahan sesuai ketentuan yang berlaku. Setiap shift dipimpin oleh seorang kepala shift yang bertanggung jawab atas kelancaran operasional selama jam kerja berlangsung. Jadwal kerja masing-masing kelompok sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Jadwal Jam Kerja

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

Tabel 4. 5 Jadwal Jam Kerja (Lanjutan)

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

Keterangan :

P : *Shift* Pagi

S : *Shift* Siang

M : *Shift* Malam

L : Libur

4.7 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

4.7.1 Gaji Bulanan

Gaji bulanan adalah gaji yang diberikan kepada pegawai tetap dengan jumlah sesuai peraturan perusahaan.

4.7.2 Gaji Lembur

Gaji lembur adalah gaji yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja pokok yang sudah ditentukan.

Tabel 4. 6 Jumlah Tenaga Kerja dan sistem Penggajian

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji
1	Direktur Utama	1	Rp40.000.000	Rp40.000.000
2	Direktur Teknik dan Operasi	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
3	Direktur Keuangan dan Pemasaran	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
4	Direktur SDM dan Umum	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
5	Kepala Bagian Produksi dan Utilitas	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000
6	Kepala Bagian Listrik dan Instrumentasi	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000
7	Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan, Pengendalian Mutu	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000
8	Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000
9	Kepala Bagian Administrasi	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000
10	Kepala Bagian Humas dan Keamanan	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Total Gaji
11	Kepala Bagian K3 dan Lingkungan	1	Rp15.000.000	Rp15.000.000
12	Kepala Seksi Proses	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
13	Kepala Seksi Bahan Baku dan Produk	2	Rp10.000.000	Rp 20.000.000
14	Kepala Seksi Utilitas	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
15	Kepala Seksi Pemeliharaan dan Bengkel	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
16	Kepala Seksi Listrik dan Instrument	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
17	Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
18	Kepala Seksi Laboratorium dan Pengembangan Mutu	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
19	Kepala Seksi Keuangan	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
20	Kepala Seksi Pemasaran	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
21	Kepala Seksi Tata Usaha	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
22	Kepala Seksi Personalia	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
23	Kepala Seksi Hubungan Masyarakat	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
24	Kepala Seksi Keamanan	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
25	Kepala Seksi K3	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
26	Kepala Seksi Lingkungan	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000
27	Karyawan Produksi	6	Rp6.000.000	Rp36.000.000
28	Karyawan Utilitas	6	Rp6.000.000	Rp36.000.000
29	Karyawan Bahan Baku dan Produk	6	Rp6.000.000	Rp36.000.000
30	Karyawan Listrik, Instrumentasi dan Pemeliharaan	6	Rp 6.000.000	Rp 36.000.000
31	Karyawan Litbang	5	Rp 6.000.000	Rp 30.000.000
32	Karyawan K3 dan Pengolahan Limbah	5	Rp 6.000.000	Rp 30.000.000
33	Karyawan Kas/Anggaran	4	Rp 6.000.000	Rp 24.000.000

34	Karyawan Pemasaran/Penjualan	6	Rp 6.000.000	Rp 36.000.000
35	Karyawan Humas dan Keamanan	6	Rp 6.000.000	Rp 36.000.000
36	Karyawan Administrasi	6	Rp 6.000.000	Rp 36.000.000
37	Operator Produksi	24	Rp 7.000.000	Rp 168.000.000
38	Operator Utilitas	15	Rp 7.000.000	Rp 105.000.000
39	Sekretaris	4	Rp 6.500.000	Rp 26.000.000
40	Dokter	3	Rp 12.000.000	Rp 36.000.000
41	Perawat	3	Rp6.000.000	Rp 18.000.000
42	Supir	7	Rp5.800.000	Rp 40.600.000
43	Cleaning Service	12	Rp5.800.000	Rp 69.600.000
44	Security	12	Rp5.800.000	Rp 69.600.000
45	Kepala Seksi Pendataan Audit	2	Rp 10.000.000	Rp 20.000.000
46	Kepala Seksi Perencaaan Keuangan	2	Rp 10.000.000	Rp 20.000.000
47	Kepala Seksi Pengendalian Keuangan	2	Rp 10.000.000	Rp 20.000.000
48	Kepala Seksi Pengadaan Bahan Baku	2	Rp 10.000.000	Rp 20.000.000
49	Kepsi Seksi Pengadaan Bahan Pendukung	2	Rp 10.000.000	Rp 20.000.000
50	Kepala Seksi Akuntansi	2	Rp 10.000.000	Rp 20.000.000
Total		**189**	**Rp 560.900.000**	**Rp1.523.800.000**

4.8 Fasilitas dan Hak Karyawan

Perusahaan memberikan berbagai fasilitas dan hak kepada karyawan guna mendukung aktivitas kerja serta meningkatkan kesejahteraan karyawan secara keseluruhan. Adapun hak dan fasilitas tersebut meliputi:

a. Hak Cuti

1) Cuti Tahunan

Setiap karyawan berhak atas cuti tahunan maksimal selama 14 hari dalam satu tahun. Apabila hak cuti tersebut tidak digunakan dalam tahun berjalan, maka cuti tersebut akan hangus dan tidak dapat diakumulasikan ke tahun berikutnya.

2) Cuti Massal

Perusahaan juga memberikan cuti massal selama 4 hari kerja setiap tahunnya yang bertepatan dengan perayaan Hari Raya.

3) Cuti Hamil

Karyawan wanita yang akan melahirkan berhak mendapatkan cuti selama 3 bulan dengan gaji penuh, dengan ketentuan bahwa jarak kelahiran anak pertama dan kedua minimal dua tahun.

b. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan harian (non-shift), hari libur nasional merupakan hari libur kerja. Sementara itu, karyawan yang bekerja dalam sistem shift tetap masuk kerja pada hari libur nasional, namun hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur (overtime).

c. Kerja Lembur

Lembur hanya dilakukan jika ada pekerjaan yang bersifat mendesak dan harus segera diselesaikan, serta harus mendapat persetujuan dari kepala bagian terlebih dahulu.

d. Pakaian Kerja dan Alat Perlindungan Diri

Untuk menjaga kesetaraan antar karyawan, perusahaan menyediakan dua pasang pakaian kerja setiap tahun. Selain itu, masker

kerja juga disediakan sebagai bagian dari perlindungan kesehatan dan keselamatan kerja.

e. Jamsostek

Seluruh karyawan tercakup dalam program Jamsostek yang mencakup asuransi jiwa dan asuransi kecelakaan kerja. Program ini bertujuan memberikan rasa aman bagi karyawan selama menjalankan tugasnya.

f. Fasilitas Pendukung Karyawan

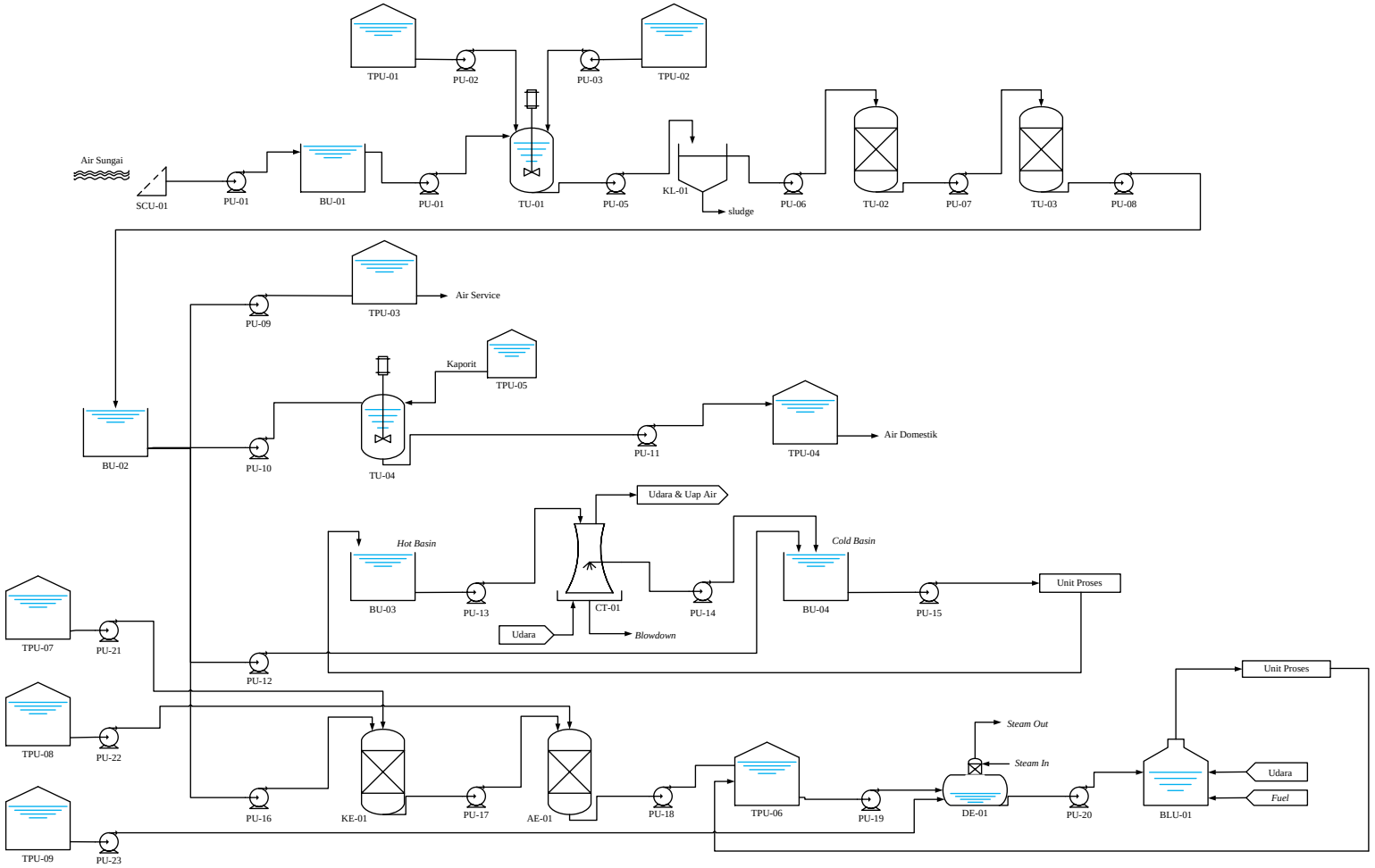
Perusahaan juga menyediakan berbagai fasilitas untuk mendukung kenyamanan dan produktivitas kerja karyawan, antara lain:

1) Sarana transportasi berupa bus karyawan.
2) Fasilitas poliklinik dengan tenaga medis profesional.
3) Tempat ibadah yang dilengkapi dengan air dan listrik.
4) Koperasi karyawan.
5) Kantin karyawan.
6) Penghargaan berupa tanda mata bagi karyawan yang telah bekerja selama 10 tahun berturut-turut.

BAB V UTILITAS

Unit utilitas merupakan bagian esensial dari pabrik kimia yang memiliki fungsi sebagai pendukung berbagai kebutuhan operasional seperti energi, air, udara tekan, dan layanan teknis lainnya guna memastikan proses produksi dapat berjalan dengan optimal dan efisien. Unit utilitas pendukung proses pabrik pupuk NPK dari *green ammonia* adalah sebagai berikut:

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



Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas Unit Pengolahan Air

Keterangan:

SCU-01	: *Screener*	KE-01	: *Kation Exchanger*
BU-01	: Bak Sedimentasi	AE-01	: *Anion Exchanger*
TPU-01	: Tangki CaOH	TPU-05	: Tangki Kaporit
TPU-02	: Tangki Tawas	BU-03	: *Hot Basin*
KL-01	: Klarifier	BU-04	: *Cold Basin*
TU-02	: *Sand Filter*	DE-01	: *Deaerator*
TU-03	: Karbon Filter	CT-01	: *Cooling Tower*
BU-02	: Bak Penampungan	BLU-01	: Boiler
TPU-03	: Tangki Air *Service*	TPU-09	: Tangki *Hydrazine*
TU-04	: Tangki Klorinasi	TPU-07	: Tangki H_2SO_4
TPU-04	: Tangki Air Bersih	TPU-08	: Tangki NaOH
TPU-06	: *Demin Water Tank*	TU-01	: Floakulator

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Dalam kegiatan operasional pabrik, ketersediaa air merupakan aspek krusial yang harus dipenuhi secara kontinu dan efisien. Sumber air untuk keperluan industri umumnya berasal dari air sumur, air sungai, air danau, maupun air laut. Pada Pra-rancangan Pabrik Pupuk NPK ini, air yang digunakan bersumber dari air Sungai Bengawan Solo yang terletak di Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pemilihan Sungai Bengawan Solo sebagai sumber utama air proses didasarkan pada pertimbangan teknis dan ekonomi berikut:

a. Ketersediaan Air

Sungai Bengawan Solo merupakan sumber air permukaan yang memiliki debit aliran stabil sepanjang tahun. Karakteristik ini menjamin pasokan air yang memadai untuk operasional utilitas pabrik secara berkelanjutan tanpa risiko kekurangan, bahkan saat musim kemarau.

b. Efisiensi Pengolahan Air

Air sungai memiliki kadar garam (*salinitas*) yang rendah sehingga lebih mudah diolah dibandingkan dengan air laut. Faktor ini membuat proses pengolahan air (*water treatment*) menjadi lebih sederhana, meminimalkan penggunaan bahan kimia untuk demineralisasi, mengurangi risiko korosi pada peralatan, serta menekan biaya operasional.

c. Lokasi yang Dekat dengan Pabrik

Aliran hilir Sungai Bengawan Solo melintasi wilayah Kecamatan Bungah dan terletak dekat dengan lokasi pabrik. Kedekatan geografis ini memudahkan sistem pemompaan (*intake system*) dan distribusi air menuju unit utilitas, sehingga dapat mereduksi biaya investasi instalasi pipa serta menekan biaya logistik operasional penanganan air. Secara keseluruhan, kebutuhan air pada pabrik ini digunakan untuk keperluan yang mencakup berbagai aspek operasional dalam mendukung kelancaran aktivitas produksi maupun non-produksi yaitu:

1. Air Domestik

Air domestik merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan seperti air minum, toilet, dan perumahan. Air ini

harus memenuhi persyaratan seperti jernih, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengandung zat organik maupun anorganik, serta tidak beracun.

Berdasarkan standar WHO, kebutuhan air bersih per orang berkisar antara 100-200 liter per hari. Untuk keperluan pabrik, digunakan angka 120 liter per orang per hari sesuai acuan dari materi perkuliahan Utilitas (Lestari, 2023). Dengan jumlah karyawan sebanyak 189 orang, maka kebutuhan air domestik karyawan adalah 22.680 kg/hari. Selain itu, pabrik juga merencanakan pembangunan 30 rumah dinas yang diperkirakan akan dihuni oleh 150 orang. Dengan total kebutuhan air sebesar 18.000 kg/hari.

Dengan demikian, total kebutuhan air domestik adalah 40.680 kg/hari. Untuk mengantisipasi fluktuasi dan kebutuhan darurat, maka diterapkan *overdesign* sebesar 20%, sehingga total kebutuhan air domestik yang direncanakan menjadi 48.816 kg/hari.

2. Air *Service*

Service water merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan layanan umum seperti bengkel, poliklinik, laboratorium, pemadam kebakaran, kantin, mushola, dan kebun sebesar 10.800 kg/hari. Untuk mengantisipasi fluktuasi dan kebutuhan darurat, maka diterapkan *overdesign* sebesar 20%, sehingga total kebutuhan air domestik yang direncanakan menjadi 12.960 kg/hari.

3. Air Pendingin

Air pendingin digunakan untuk peralatan yang membutuhkan penurunan suhu selama proses berlangsung. Penggunaan air sebagai media pendingin dipilih karena beberapa keunggulan, meliputi: ketersediaan yang melimpah, kemudahan dalam pengolahan dan pengaturan, kemampuan menyerap panas dalam jumlah besar tanpa terdekomposisi, dan kestabilan volumenya meskipun *temperature* rendah.

Kebutuhan air pendingin pada pabrik ini ditunjukkan dalam tabel 5.1 berikut:

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	**Kode**	**Jumlah (kg/jam)**
Heat exchanger	CL-01	3.366,31
Reaktor	R-01	124,90
	R-02	124,90
	G-02	315,38
Total		**3931,48**

Untuk mengantisipasi beban puncak dan kondisi tidak terduga, perancangan sistem pendingin dilakukan dengan *overdesign* sebesar 20%, sehingga total kebutuhan air pendingin menjadi 4.717,78 kg/jam. Selama proses berlangsung, air pendingin mengalami *blowdown* pada unit *cooling tower*, sehingga perlu ditambahkan air pengganti (*make-up water*). Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air *make-up* tersebut sebesar 80,20 kg/jam.

4. Air Pemanas (*Steam*)

Air steam dalam pabrik digunakan sebagai media pemanas pada berbagai unit proses. Air yang digunakan sebagai umpan boiler harus memenuhi beberapa persyaratan agar tidak menimbulkan kerusakan pada sistem. Adapun syarat air umpan *boiler* antara lain: tidak membuih atau berbusa, tidak membentuk kerak dalam *reboiler*, serta tidak menyebabkan korosi pada pipa. Apabila air *boiler* tidak memenuhi persyaratan tersebut, maka dapat menyebabkan kerusakan alat akibat terbentuknya *scaling*, *fouling*, dan *foaming*. Oleh karena itu, pengolahan air *boiler* dilakukan secara hati-hati untuk menjamin kualitasnya. Kebutuhan steam untuk peralatan pada pabrik ini ditunjukkan pada Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air *Steam*

Nama Alat	Kode	Jumlah (kg/jam)
Heat exchanger	HE-01	150,46
	HE-02	298,47
	HE-03	179,18
	HE-04	511,48
Total		**1.139,58**

Dalam perancangannya, dilakukan *overdesign* sebesar 20% untuk mengantisipasi kebutuhan beban puncak, sehingga total kebutuhan steam menjadi 1.367,49 kg/jam. Selama proses berlangsung, sekitar 85% air pembangkit steam dimanfaatkan kembali melalui sistem kondensat return. Sementara itu, 15% sisanya perlu digantikan sebagai air *make-up*, akibat terjadinya *blowdown* pada *boiler* sebesar 10% dan

kehilangan melalui steam trap sebesar 5%. Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah air make-up yang dibutuhkan sebesar 273,50 kg/jam.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

a. Penghisapan

Air dari sungai dihisap menggunakan Pompa (PU-01) dan dialirkan menuju *Screening* (SCU-01).

b. *Screening*

Screening adalah proses awal pemisahan benda-benda besar tanpa bahan kimia. Saringan ini dipasang di sisi hisap pompa untuk mencegah masuknya kotoran besar yang dapat menyumbat atau merusak peralatan berikutnya. Kotoran kasar seperti daun, plastik, dan serpihan kayu akan tertinggal di sini, sedangkan partikel kecil tetap terbawa untuk diolah selanjutnya.

c. Sedimentasi

Setelah melewati proses *screening* (SCU-01), air sungai dialirkan ke dalam bak sedimentasi (BU-01) untuk menjalani pengendapan awal. Di dalam BU-01, partikel-partikel berat yang masih terbawa setelah proses penyaringan seperti pasir halus, lumpur, dan endapan mineral akan mengendap secara alami melalui gaya gravitasi. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengurangi kadar padatan tersuspensi sejak dini, sehingga beban pada proses kimia selanjutnya menjadi lebih ringan dan efisien. Air yang telah melewati sedimentasi awal ini kemudian

dipompa menuju tahap koagulasi dan flokulasi untuk proses pengolahan lanjutan.

d. Floakulator

Setelah mengalami pengendapan awal di Bak Sedimentasi (BU-01), air dialirkan menuju floakulator (TU-01) untuk menjalani proses koagulasi dan flokulasi. Pada saat yang bersamaan, dari sisi lain, larutan CaOH dari Tangki CaOH (TPU-01) dan larutan tawas dari Tangki tawas (TPU-02) juga dialirkan langsung ke dalam TU-01.

Di dalam floakulator ini, CaOH berfungsi untuk meningkatkan pH air agar suasana menjadi basa, sehingga reaksi koagulasi berjalan optimal. Sementara itu, tawas ($Al_2(SO_4)_3$) bertindak sebagai koagulan untuk menetralkan muatan partikel koloid di dalam air. Proses pencampuran berlangsung lambat (*slow mixing*) di TU-01 memungkinkan partikel-partikel kecil dan koloid menggumpal membentuk flok. Flok-flok ini akan terbentuk secara perlahan dan siap untuk dipisahkan pada tahap pengendapan berikutnya di klarifier (KL-01).

e. Klarifier

Setelah melalui proses koagulasi dan flokulasi di floakulator (TU-01), air yang telah mengandung flok-flok besar dialirkan ke unit klarifier (KL-01). Klarifier berfungsi sebagai tempat pengendapan lanjutan, di mana flok-flok hasil flokulasi akan mengendap secara gravitasi ke dasar tangki. Desain klarifier memungkinkan air bergerak

perlahan, sehingga partikel-partikel tersuspensi yang terbentuk dapat mengendap sempurna dan tidak terbawa ke proses selanjutnya.

f. *Sand Filter*

Air jernih dari bagian atas klarifier (KL-01) kemudian dialirkan ke unit *sand filter* (TU-02) untuk menjalani proses penyaringan lanjutan. *Sand filter* berfungsi untuk menghilangkan partikel tersisa yang berukuran sangat kecil dan tidak dapat terendapkan pada proses sebelumnya.

Media penyaring yang digunakan terdiri dari pasir berlapis dengan komposisi *Graded Gravel* sebesar 20% sebagai penahan dan pendukung dasar, *Coarse Sand* sebesar 70% sebagai media utama penyaring, serta *Fine Sand* sebesar 10% yang mampu menyaring padatan tersuspensi halus, lumpur mikro, dan sisa flok yang masih terbawa. Proses ini merupakan tahap penting dalam meningkatkan kualitas kejernihan air sebelum digunakan lebih lanjut. Air hasil filtrasi dari *sand filter* kemudian dialirkan ke tahap berikutnya, yaitu karbon filter, untuk menghilangkan kontaminan organik dan bau.

g. Karbon *Filer*

Air hasil filtrasi dari sand filter selanjutnya dialirkan ke unit karbon filter (TU-03) untuk menjalani proses penyempurnaan kualitas. Pada tahap ini, digunakan media penyaring berupa karbon aktif *haycarb*, yang dikenal memiliki daya serap tinggi terhadap senyawa organik, bau, warna, serta sisa klorin bebas dalam air. Karbon aktif

bekerja dengan cara adsorpsi, yaitu menarik dan menahan zat-zat pengotor ke permukaan pori-pori karbon. Dengan menggunakan media haycarb, proses penyaringan ini menjadi lebih efektif dalam menghasilkan air yang jernih, tidak berbau, dan aman digunakan.

h. Bak Penampungan

Air yang telah melalui tahap filtrasi dapat disebut sebagai air bersih dan ditampung dalam bak penampung air sementara (BU-02). Air tersebut kemudian didistribusikan untuk keperluan seperti air domestik dan *service water*, air proses, air pendingin, serta *steam water*.

i. Klorinasi

Klorinasi berfungsi sebagai tempat pencampuran air bersih dengan bahan desinfektan yaitu natrium hipoklorit (NaOCl). Proses ini bertujuan membunuh mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, dan protozoa yang mungkin masih ada setelah tahap filtrasi. Klorinasi dilakukan secara terkontrol agar konsentrasi klorin tetap sesuai standar, sehingga air aman digunakan untuk keperluan domestik tanpa menimbulkan efek samping. Tangki ini dilengkapi dengan pengaduk untuk menjamin pencampuran merata. Selanjutnya, air hasil klorinasi dialirkan menuju tangki air domestik (TPU-04) untuk distribusi ke kebutuhan sehari-hari.

j. *Cooling Tower*

Air hasil filtrasi yang sudah bersih ditampung dalam bak penampung air bersih dan sebagian dialirkan sebagai air pendingin. Air

ini kemudian dipompa menuju peralatan proses seperti *heat exchanger* atau kondensor untuk menyerap panas dari sistem. Setelah menyerap panas, air yang suhunya telah meningkat dialirkan menuju hot basin dari *cooling tower*. Di dalam *cooling tower*, air mengalami proses pendinginan melalui kontak langsung dengan udara ambien secara evaporatif. Air yang telah didinginkan selanjutnya dikumpulkan dalam cold basin dan dialirkan kembali ke peralatan proses untuk digunakan ulang dalam sistem pendingin. Proses ini berlangsung secara sirkulasi tertutup sehingga efisien dan berkelanjutan.

k. Demineralisasi

Proses demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan ion-ion terlarut dalam air agar dapat digunakan sebagai air umpan *boiler*. Tahap ini terdiri dari dua unit utama yaitu *kation exchanger* (KE-01) dan *anion exchanger* (AE-01). Pada proses *kation exchanger* (KE-01), Air dari bak penampungan sementara (BU-02) dialirkan ke unit *kation exchanger*. Di dalam unit ini, ion positif seperti Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, dan kation logam lainnya ditangkap oleh resin kation bertipe *hydrogen-zeolite*. Resin ini akan menukar ion-ion positif dalam air dengan ion H+. Jika resin telah jenuh, dilakukan proses regenerasi menggunakan asam kuat H_2SO_4 yang dialirkan dari tangki H_2SO_4 (TPU-07). Air keluaran dari unit ini bersifat asam dan bebas dari kation sadah, sehingga mencegah pembentukan kerak (*scaling*) pada peralatan.

Selanjutnya, air hasil dari *kation exchanger* dialirkan ke *anion exchanger* untuk proses. Resin anion akan menangkap ion negatif seperti Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, HCO_3^-, dan CO_3^{2-}, serta menukarnya dengan ion OH^-. Ion H^+ dari *kation exchanger* dan OH^- dari *anion exchanger* akan membentuk H_2O, sehingga menghasilkan air demineralisasi murni. Jika resin anion telah jenuh, dilakukan regenerasi menggunakan basa kuat NaOH yang disuplai dari tangki NaOH (TPU-08). Air hasil dari unit *anion exchanger* ini memiliki kemurnian tinggi dan dapat digunakan sebagai air proses atau umpan ke tahap deaerasi sebelum masuk *boiler*.

l. Deaerator

Setelah melalui proses demineralisasi, air dialirkan ke unit deaerator (DE-01) untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O_2), yang dapat menyebabkan korosi pada sistem *boiler*. Di dalam deaerator, air dipanaskan dan kontak langsung dengan uap, sehingga gas-gas terlarut keluar dari air. Untuk memastikan tidak ada sisa oksigen, ditambahkan senyawa kimia *hydrazine* (N_2H_4) dari tangki *hydrazine* (TPU-09) yang berfungsi sebagai *oxygen scavenger* dengan mengikat O_2 menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Air yang telah bebas dari gas terlarut kemudian dialirkan ke *boiler feed water* dan siap digunakan dalam proses pembangkitan uap di *boiler*.

5.2 Unit Pembangkit Steam (Steam Generation System)

Unit ini berfungsi untuk mencukupi kebutuhan steam dalam proses produksi pupuk NPK dengan menyediakan satu buah ketel uap (*boiler*) berjenis *Water Tube Boiler* yang memiliki kapasitas sebesar 1.367,49 kg/jam. *Boiler* ini dilengkapi dengan sebuah unit *economizer*, katup pengaman (*safety valve*), serta sistem pengaman lainnya yang bekerja secara otomatis.

Sebelum digunakan sebagai umpan *boiler*, air dari unit *Water Treatment Plant* terlebih dahulu disesuaikan kualitasnya dengan cara mengurangi kadar silika, oksigen (O_2), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) yang mungkin masih terkandung di dalamnya. Proses ini dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan kimia tertentu ke dalam *boiler feed water tank.* Selain itu, pH air juga diatur pada rentang 10.5–11.5, karena pH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan korosifitas yang berbahaya bagi sistem.

Sebelum masuk ke dalam *boiler*, air dialirkan ke *economizer* untuk menyerap panas dari gas buang hasil pembakaran industri *diesel oil* (IDO). Di dalam *economizer*, temperatur air dinaikkan hingga 160°C. Setelah itu, air masuk ke dalam *boiler* dan dipanaskan lebih lanjut hingga berubah menjadi uap.

Uap dengan suhu tinggi sekitar 160°C ini kemudian dialirkan ke sistem distribusi. Pada tahap ini uap langsung digunakan dalam unit proses yang membutuhkan suhu 160°C. Setelah digunakan dalam proses produksi, uap akan mengalami kondensasi dan dialirkan kembali untuk diolah dan dipanaskan ulang melalui sistem looping. Dengan sistem ini, efisiensi energi terjaga dan pemanfaatan

steam dapat dilakukan secara berkelanjutan sesuai kebutuhan suhu masing-masing unit proses.

5.3 Unit Pengolahan Pendingin

Sistem pendingin pada pabrik ini menggunakan sirkulasi tertutup yang terdiri dari *cooling tower, hot basin,* dan *cold basin*. Dari *hot basin,* air dialirkan ke *cooling tower* (CT-01) untuk didinginkan. Proses pendinginan berlangsung secara evaporatif melalui kontak langsung dengan udara ambien. Di Gresik, kondisi udara sekitar memiliki suhu rata-rata 27°C dengan kelembaban relatif 80%. Air pendingin yang masuk ke *cooling tower* bersuhu 40°C dan diturunkan menjadi 30°C setelah proses pendinginan.

Cooling tower yang digunakan merupakan tipe *induced draft* dengan 1 *cell* aktif dan luas penampang sebesar 13,0129 m^2, dengan tambahan ruang untuk distributor dan inlet udara, total tinggi *cooling tower* mencapai 3 m. Air yang telah didinginkan ditampung di *cold basin*, kemudian dialirkan kembali ke peralatan proses. Baik *cold basin* maupun *hot basin* memiliki volume sebesar 189,30 m^3, dengan dimensi masing-masing panjang dan lebar 7,23 m serta tinggi 3,62 m.

Dalam proses evaporasi di *cooling tower*, terjadi kehilangan air sebesar 2,5% dari aliran total atau sekitar 197,41 kg/jam. Tambahan kehilangan akibat *blowdown* dan *windage* sebesar 39,48 kg/jam dan 15,78 kg/jam. Sehingga, kebutuhan total make-up water mencapai 252,66 kg/jam.

5.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Kebutuhan listrik pada pabrik ini dipenuhi oleh PLN. Selain itu, juga digunakan generator pabrik sebagai cadangan apabila terjadi gangguan pada pasokan listrik dari PLN. Penggunaan generator bertujuan agar proses produksi dan alat alat tetap berjalan atau berlangsung meskipun terdapat gangguan pasokan listrik dari PLN.

Berikut merupakan rincian untuk kebutuhan listrik pabrik ini diantaranya sebagai berikut:

a. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5. 3 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No	Alat	HP	Watt	kW
1	R-01	100	74.570	75
2	R-02	100	74.570	75
3	G-01	30,76	22.941	23
4	G-02	60	44.742	45
5	RD-01	3,009	2.244	2
6	SC-01	7,5	5.593	6
7	RC-01	5,528	4.122	4
8	X-01	30	22.371	22
9	BC-01	1,5	1.119	1
10	BC-02	1,5	1.119	1
11	BC-03	1,5	1.119	1
12	BC-03	1,5	1.119	1
13	BC-04	1,5	1.119	1
14	BC-05	1,5	1.119	1
15	BC-06	1,5	1.119	1
16	BC-07	1,5	1.119	1
17	BC-08	1,5	1.119	1
18	BC-09	1,5	1.119	1
19	BC-10	1,5	1.119	1
20	BC-11	1,5	1.119	1
21	P-01	0,08	62	0,062
22	P-02	0,13	93	0,093
23	P-03	0,33	249	0,249
24	P-04	0,75	559	1

25	P-05	0,05	37	0,037
26	P-06	0,08	62	0,062
27	P-07	0,75	559	1
28	SR-01	2	1.491	1
29	SR-02	10	7.457	7
30	BL-01	0,75	559	1
31	BL-02	15	11.186	11
32	BL-03	20	14.914	15
33	BL-04	15	11.186	11
34	BL-05	15	11.186	11
35	BL-06	15	11.186	11
Total		**448**	**334.242**	**334**

b. Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

No	Alat	HP	Watt	kW
1	Tangki Floakulator	0,5	372,85	0,37
2	Klarifier	0,5	372,85	0,37
3	Cooling Twer	1	745,7	0,75
4	Tangki Klorinasi	1,5	1.118,55	1,12
5	Kompresor	10	7457	7,46
6	Turbin	0,5	372,85	0,37
7	PU-01	0,75	559,275	0,56
8	PU-02	0,05	37,285	0,04
9	PU-03	0,05	37,285	0,04
10	PU-04	0,5	372,85	0,37
11	PU-05	0,5	372,85	0,37
12	PU-06	0,5	372,85	0,37
13	PU-07	0,25	186,425	0,19
14	PU-08	0,25	186,425	0,19
15	PU-09	1,5	1.118,55	1,12
16	PU-10	1,5	1.118,55	1,12
17	PU-11	1,5	1.118,55	1,12
18	PU-12	0,333	248,318	0,25
19	PU-13	0,5	372,85	0,37
20	PU-14	0,75	248,3181	0,25
21	PU-15	1	372,85	0,37
22	PU-16	1	559,275	0,56
23	PU-17	1	745,7	0,75
24	PU-18	1	745,7	0,75
25	PU-19	1	745,7	0,75
26	PU-20	1	745,7	0,75
27	PU-21	2	1.491,4	1,49

28	PU-22	1	745,7	0,75
29	PU-23	0,05	37,285	0,04
Total		**30,8**	**22.979,5**	**23**

Sehingga total kebutuhan listrik alat proses dan utilitas adalah 392.944 watt kemudian di *over desaign* 10% menjadi 392,944 watt.

c. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

Kebutuhan daya listrik untuk alat kontrol diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan listrik yang digunakan untuk menggerakkan motor. Berdasarkan perhitungan tersebut, total kebutuhan listrik untuk alat kontrol mencapai 98,236 kW.

d. Kebutuhan Listrik Penerangan

Daya listrik yang dibutuhkan untuk sistem penerangan diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk pengoperasian motor. Dengan asumsi tersebut, total kebutuhan listrik untuk penerangan mencapai 58,942 kW.

e. Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor

Kebutuhan daya listrik untuk peralatan kantor, seperti AC, komputer, dan peralatan penunjang lainnya, diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik yang digunakan untuk menggerakkan motor. Dengan asumsi tersebut, total kebutuhan listrik untuk peralatan kantor adalah sebesar 58,942 kW.

f. Kebutuhan Listrik Bengkel, Laboratorium, dan Lain-lain

Daya listrik yang dibutuhkan untuk operasional bengkel dan laboratorium diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik yang

digunakan untuk menggerakkan motor. Berdasarkan estimasi tersebut, total kebutuhan listrik untuk bengkel dan laboratorium adalah sebesar 58,942 kW.

g. Kebutuhan Listrik Perumahan

Total kebutuhan listrik untuk operasional pabrik mencakup berbagai aspek penunjang, mulai dari unit pembangkit hingga fasilitas pendukung lainnya. Kebutuhan terbesar berasal dari unit *power plant* dan utilitas sebesar 392,944 kW. Untuk sistem kontrol, daya yang dibutuhkan diperkirakan sebesar 98,236 kW, sedangkan untuk penerangan membutuhkan daya sebesar 58,942 kW. Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor seperti AC dan komputer juga diperkirakan sebesar 58,942 kW. Selain itu, bengkel dan laboratorium turut menyumbang kebutuhan daya sebesar 58,942 kW. Untuk area perumahan yang terdiri dari 30 unit rumah, masing-masing dengan kebutuhan listrik sekitar 1 kW, total daya yang dibutuhkan mencapai 30 kW.

Dengan demikian berdasarkan rincian kebutuhan diatas, total keseluruhan kebutuhan listrik yang diperlukan untuk menjalankan seluruh unit pabrik mencapai 698,005 kW.

h. Generator

Kebutuhan bahan bakar untuk generator cadangan berfungsi untuk mengetahui seberapa banyak bahan bakar yang dibutuhkan agar generator dapat beroperasi secara optimal. Pada sistem ini, digunakan generator dengan kapasitas sebesar 750 kW dan efisiensi kerja sebesar 80%. Bahan

bakar yang digunakan adalah IDO (*Industrial Diesel Oil*). Kebutuhan bahan bakar untuk menjalankan generator sekitar 199,95 kilogram per jam. Nilai ini menjadi acuan penting dalam perencanaan pasokan bahan bakar, terutama saat generator difungsikan sebagai sumber listrik cadangan dalam kondisi darurat atau saat pasokan utama mengalami gangguan.

5.5 Unit Penyedia Udara tekan (*Instrument Air System*)

Dalam operasional pabrik ini, udara tekan digunakan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan instrumen-instrumen kontrol yang bekerja secara pneumatis. Tekanan udara instrumen yang dibutuhkan adalah sebesar 7,2 bar. Terdapat sekitar 15 alat kontrol di pabrik yang membutuhkan udara tekan untuk menjalankan fungsinya.

Proses penyediaan udara tekan dimulai dari pengambilan udara lingkungan yang kemudian dikompresi menggunakan *compressor* yang dilengkapi dengan filter udara, hingga mencapai tekanan yang diinginkan yaitu 7,2 bar. Setelah dikompresi, udara tersebut dialirkan menuju alat kontrol dan alat proses yang memerlukannya.

Total kebutuhan udara instrumen diperkirakan mencapai 30,59 m^3 per jam. Agar udara yang digunakan dalam kondisi kering, maka setelah keluar dari blower, udara terlebih dahulu dilewatkan melalui sebuah tangki udara atau bejana pengering yang berisi *silica gel*. Proses ini memastikan tidak adanya kandungan uap air yang dapat mengganggu kinerja sistem kontrol pneumatis.

5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada boiler dan generator di pembangkit listrik, dengan jenis bahan bakar yang digunakan adalah industrial *diesel oil* dan konsumsi sebesar 1.396,954 m3 per hari. Jika dibandingkan dengan batu bara, penggunaan industrial *diesel oil* lebih efisien karena memiliki nilai kalor (*heating value*) yang lebih tinggi. Sehingga, penggunaan batu bara memerlukan volume bahan bakar yang lebih besar untuk menghasilkan energi yang sama. Selain itu, meskipun harga batu bara per satuan berat lebih murah, total biaya operasional justru meningkat karena konsumsi yang lebih tinggi serta kebutuhan infrastruktur tambahan untuk penanganan material padat, sistem kontrol emisi, dan pengelolaan limbah.

5.7 Unit Pengolahan Limbah

Dalam proses produksi pupuk NPK, limbah udara atau gas pembawa bebas partikulat yang keluar dari bagian atas *cyclone* (CY-01) akan dihisap oleh blower (BL-05) untuk dibuang menuju atmosfer. Sementara itu, gas emisi yang mengandung *green ammonia* (NH_3) dari reaktor dialirkan melalui pipa menuju *Emergency Scrubber System* untuk proses penyerapan (*scrubbin*g), sehingga kandungan gas berbahaya dapat dipisahkan sebelum sisa udara bersih dilepaskan dengan aman ke atmosfer.

5.8 Spesifikasi Alat Utilitas

5.8.1 Alat Unit Pengolahan Air Bersih

Tabel 5. 5 Spesifikasi *Screening* Utilitas

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyaring kotoran yang berukuran besar seperti daun, ranting dan sampah lainnya
Bahan	Alumunium
Jumlah air (kg/jam)	8509,396
Kecepatan air (m/s)	0,6
Luas Penampang (m^2)	0,003
Jumlah *Screen* (buah)	1

Tabel 5. 6 Spesifikasi Bak Pengolahan Air

Kode	BU-01	BU-02
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai	Menampung sementara *raw water* setelah disaring di *sand filter*
Jenis	Bak persegi	Bak persegi
Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang
Kapasitas (m^3/jam)	8,517	8509,396
Panjang (m)	5,891	2,733
Lebar (m)	5,891	2,733
Tinggi (m)	2,945	1,367

Tabel 5. 7 Spesifikasi Tangki Pengolahan Air

Kode	TPU-01	TPU-02
Fungsi	Menyimpan larutan CaOH % untuk 1 minggu operasi	Menyimpan larutan alum 5 % untuk 1 minggu operasi
Jenis	Tangki *silinder*	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (kg)	271,620	3,574
Tinggi (m)	0,592	0,140
Diameter (m)	0,592	0,140
Volume (m^3)	0,326	0,004

Tabel 5. 8 Spesifikasi Tangki Flokulator

Parameter	Nilai
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan.
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Tinggi (m)	2,213
Diameter (m)	2,213
Volume ($m^{3)}$	8,509
Jenis *Impeller*	*Marine propeller 3 blade*
Jumlah *Impeller*	1
Power Motor (hP)	0,5

Tabel 5. 9 Spesifikasi *Sand Filter*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air sungai.
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Tinggi Lapisan Pasir (m)	1,008
Tinggi (m)	1,209
Diameter (m)	1,053
Volume (m^3)	1,052

Tabel 5. 10 Spesifikasi *Carbon Filter*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyaring pengotor berupa senyawa organik terlarut, klorin dan oksida lainnya yang tersisa pada air hasil keluaran *sand filter*.
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Massa Karbon Aktif (kg)	287,901
Tinggi (m)	0,097
Diameter (m)	0,049
Volume (m^3)	0,709

Tabel 5. 11 Spesifikasi *Klarifier*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran bersifat koloid yang terbawa dari bak pengendap awal *Clarifier/conical bottom.*
Jenis	Tangki *silinder*
Diameter (m)	3,733
Tinggi (m)	3,733
Tinggi Kerucut (m)	0,467
Volume ($m^{3)}$	40,845
Jenis *Impeller*	*Marine propeller 3 blade*
Jumlah *Impeller*	1
Power Motor (hP)	0,5

5.8.2 Alat Pengolahan Air *Service* dan Air Domestik

Tabel 5. 12 Spesifikasi Tangki Air *Service* dan Air Domestik

Kode	TPU-03	TPU-04	TPU-05
Fungsi	Menampung kebutuhan air untuk pemakaian layanan umum (*service water*)	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga	Menampung kebutuhan kaporit yang akan dimasukkan kedalam tangki Klorinasi (TU-04)
Jenis	Tangki *silinder*	Tangki *silinder*	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Tinggi (m)	2,706	4,210	0,374
Diameter (m)	2,706	4,210	0,374
Volume (m^3)	15,552	58,579	0,041

Tabel 5. 13 Spesifikasi Tangki Klorinasi

Parameter	Nilai
Fungsi	Mencampur Klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air.
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Tinggi (m)	1,460
Diameter (m)	1,460
Volume (m^3)	2,440
Jenis *Impeller*	*Marine propeller 3 blade*
Jumlah *Impeller*	1
Power Motor (hP)	1,5

5.8.3 Alat Unit Pengolahan Air Pendingin

Tabel 5. 14 Spesifikasi Bak Pengolahan Air Pendingin

Kode	BU-03	BU-04
Fungsi	Menampung air dari output alat proses pendingin	Menampung air untuk keperluan proses pendingin dan hasil dari *cooling tower*
Jenis	Bak persegi	Bak persegi
Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang
Kapasitas (m^3/jam)	8,509	8,509
Panjang (m)	7,419	7,419
Lebar (m)	7,419	7,419
Tinggi (m)	3,710	3,710

Tabel 5. 15 Spesifikasi *Cooling Tower*

Kode	CT-01
Fungsi	Mendinginkan air keluaran cooler dengan dikontakkan ke udara.
Jenis	*Induced draft*
Suhu Input (°C)	30
Suhu Output (°C)	40
Luas Area Total (m^2)	1,681
Diameter (m)	1
Tinggi Bahan Isian (m)	1,66489E-10
Tinggi Total (m)	3
Volume ($m^{3)}$	61,556
Power Motor (hP)	1

5.8.4 Alat Unit Penyedia Steam

Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki Pengolahan *Steam*

Kode	TPU-06	TPU-07	TPU-08	TPU-09
Fungsi	Mencampur Kondensat sirkulasi dan makeup air umpan boiler	Menyimpan H_2SO_4 untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan NaOH untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan larutan N_2H_4
Jenis	Tangki *silinder*	Tangki *silinder*	Tangki *silinder*	Tangki *silinder*

Kode	TPU-06	TPU-07	TPU-08	TPU-09
Bahan	*Stainless Steel 316*	*Stainless Steel 316*	*Stainless Steel 316*	*Stainless Steel 316*
Tinggi (m)	1,028	3,514	1,529	1,286
Diameter (m)	1,028	3,514	1,529	1,286
Volume (m^3)	1,640	9,694	2,808	1,668

Tabel 5. 17 Spesifikasi *Kation Exchanger*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ionion positif (Na+, Ca2+, Ba) dalam air
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Stainless Steel 316*
Tinggi Bed (m)	1,905
Tinggi Tangki (m)	2,286
Diameter Tangki (m)	2,286
Volume (m^3)	0,355

Tabel 5. 18 Spesifikasi *Anion Exchanger*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menghilangkan ion-ion negatif yang masih terbawa dari bak air bersih
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Stainless Steel 316*
Tinggi Bed (m)	1,905
Tinggi Tangki (m)	2,286
Diameter Tangki (m)	2,286
Volume (m^3)	0,355

Tabel 5. 19 Spesifikasi Deaerator

Parameter	Nilai
Fungsi	Menghilangkan gas CO_2 dan O_2 yang terikat dalam *feed water* penyebab kerak pada reboiler
Jenis	Tangki silinder horizontal
Bahan	*Stainless Steel 316*
Kapasitas (m^3/jam)	1,367
Diameter (m)	1,279
Tinggi (m)	1,279
Volume (m^3)	1,641

Tabel 5. 20 Spesifikasi *Boiler*

Parameter	Nilai
Fungsi	Membuat *saturated steam*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (kJ/jam)	2.456.216,153
Suhu (°C)	160
Luas Perpindahan Panas (m^2)	39,918
Kebutuhan Bahan Bakar (m^3/jam)	58,206

Tabel 5. 21 Spesifikasi Turbin

Parameter	Nilai
Fungsi	Menurunkan tekanan *high pressure steam* menjadi *low pressure steam*
Suhu *Input* (K)	623
Suhu *Output* (K)	433
Tekanan *Input* (atm)	6,1
Tekanan *Output* (atm)	8,8
Power Standar (hP)	0,5

5.8.5 Alat Unit Udara Tekan

Tabel 5. 22 Spesifikasi Kompresor

Parameter	Nilai
Fungsi	Mengompres udara menjadi udara bertekan
Flow udara (m^3/jam)	30,586
Suhu Udara (C)	27
Tekanan *Input* (atm)	1
Tekanan *Output* (atm)	7,2
Power Standar (hP)	10

Tabel 5. 23 Spesifikasi Tangki *Silica Gel*

Parameter	Nilai
Fungsi	Menampung udara kering
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Tinggi (m)	0,776
Diameter (m)	0,776
Volume (m^3)	0,550

5.8.6 Alat Unit Penyedia Bahan Bakar

Tabel 5. 24 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyimpan bahan bakar *Industrial Diesel Oil* untuk boiler dan generator selama 3 hari
Jenis	Tangki *silinder*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*
Tinggi (m)	18,596
Diameter (m)	18,596
Volume (m^3)	5.048,228

5.8.7 Generator

Tabel 5. 25 Spesifikasi Generator

Parameter	Nilai
Fungsi	Sebagai sumber listrik alternatif yang akan beroperasi ketika pasokan listrik utama terputus
Efisiensi	80%
Kapasitas (kW)	750
Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)	199,949

5.8.8 Pompa Utilitas

Tabel 5. 26 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Fungsi	Mengalirkan hasil *Screening* SCU-01 menuju Bak Sedimentasi BU-01	Mengalirkan hasil (TPU-01) menuju (TU-01)	Mengalirkan hasil Tangki Tawas (TPU-02) menuju Floakulator (TU-01)	Mengalirkan hasil Bak sedimentasi ke tangki flokulator
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (m^3/jam)	9,329	0,003	0,00000578	9,329
IPS (in)	2	0,125	0,125	2,5

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
No. Sch	40	40	40	40
OD (in)	2,38	0,405	0,405	2,880
ID (in)	2,067	0,269	0,269	2,469
Efisiensi Pompa	53%	20%	20%	53%
Tenaga Pompa (hP)	0,5	0,000	0,000	0,297
Tenaga Motor (hP)	0,75	0,05	0,05	0,5

Tabel 5. 27 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)

Kode	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
Fungsi	Mengalirkan hasil tangki flokulator (TU-01) menuju klarifier	Mengalirkan hasil klarifier (KL-01) menuju *sand filter* (TU-02)	Mengalirkan hasil *sand filter* (TU-02) menuju Karbon Filter (TU-03)	Mengalirkan hasil karbon filter (TU-03) menuju bak penampungan (BU-02)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (m^3/jam)	9,329	9,329	9,329	9,329
IPS (in)	2,5	2,5	2,5	2,5
No. Sch	40	40	40	40
OD (in)	2,9	2,9	2,9	2,9
ID (in)	2,469	2,469	2,469	2,469
Efisiensi Pompa	53%	53%	53%	53%
Tenaga Pompa (hP)	0,282	0,383	0,189	0,19
Tenaga Motor (hP)	0,5	0,5	0,250	0,250

Tabel 5. 28 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)

Kode	**PU-09**	**PU-10**	**PU-11**	**PU-12**
Fungsi	Mengalirkan hasil bak penampungan (BU-02) menuju tangki air *service* (TPU-03)	Mengalirkan hasil bak penampungan (BU-02) menuju tangki klorinasi (TU-04)	Mengalirkan hasil tangki klorinasi (TU-04) menuju tangki air domestik (TPU-04)	Mengalirkan hasil bak penampungan (BU-02) menuju *cold basin* (BU-04)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (m^3/jam)	0,633	2,463	2,463	5,398
IPS (in)	0,375	1	1	1,5
No. Sch	40	40	40	40
OD (in)	0,675	1,320	1,3	1,900
ID (in)	0,493	1,049	1,049	1,610
Efisiensi Pompa	20%	20%	20%	81%
Tenaga Pompa (hP)	0,945	1,20	1,206	0,227
Tenaga Motor (hP)	1,5	1,5	1,5	0,333

Tabel 5. 29 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)

Kode	**PU-13**	**PU-14**	**PU-15**	**PU-16**
Fungsi	Mengalirkan hasil *hot basin* (BU-03) menuju *cooling tower* (CT-01)	Mengalirkan hasil *cooling tower* (CT-01) menuju *cold basin* (BU-04)	Mengalirkan hasil *cold basin* (BU-04) menuju unit proses	Mengalirkan hasil bak sedimentasi (BU-02) menuju *kation exchanger* (KE-01)
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*

Kode	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (m^3/jam)	5,398	5,398	5,398	0,834
IPS (in)	1,5	1,5	1,5	0,5
No. Sch	40	40	40	40
OD (in)	1,90	1,90	1,90	0,840
ID (in)	1,61	1,61	1,61	0,622
Efisiensi Pompa	81%	81%	81%	20%
Tenaga Pompa (hP)	0,289	0,256	0,273	0,495
Tenaga Motor (hP)	0,5	0,333	0,5	0,750

Tabel 5. 30 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)

Kode	PU-17	PU-18	PU-19	PU-20
Fungsi	Mengalirkan hasil *kation exchanger* menuju *anion exchanger*	Mengalirkan hasil *anion exchanger* menuju *demin water tank*	Mengalirkan hasil *demin water tank* menuju *deaerator*	Mengalirkan hasil *deaerator* menuju boiler
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (m^3/jam)	0,834	0,834	0,834	0,834
IPS (in)	0,5	0,5	0,5	0,5
No. Sch	40	40	40	40
OD (in)	0,840	0,840	0,840	0,840
ID (in)	0,622	0,622	0,622	0,622
Efisiensi Pompa	20%	20%	20%	20%
Tenaga Pompa (hP)	0,470	0,460	0,489	0,489
Tenaga Motor (hP)	1	1	1	1

Tabel 5. 31 Spesifikasi Pompa Utilitas (lanjutan)

Kode	**PU-21**	**PU-22**	**PU-23**
Fungsi	Mengalirkan hasil tangki $H2SO_4$ (TPU-07) menuju *kation exchanger*	Mengalirkan hasil tangki NaOH (TPU-08) menuju *anion exchanger*	Mengalirkan hasil tangki N_2H_4 (TPU-09) menuju *dearator*
Jenis	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*	*Centrifugal Single Stage Pump*
Bahan	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*	*Carbon steel SA-283 garde C*
Kapasitas (m^3/jam)	0,764	0,219	0,001
IPS (in)	0,5	0,25	0,125
No. Sch	40	40	40
OD (in)	0,840	0,5	0,4
ID (in)	0,622	0,364	0,269
Efisiensi Pompa	20%	20%	20%
Tenaga Pompa (hP)	1,247	0,422	0,000
Tenaga Motor (hP)	2	1	0,05

BAB VI EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi merupakan tahap krusial dalam prarancangan pabrik untuk menilai kelayakan investasi dan potensi keuntungan finansial. Analisis ini memastikan apakah pabrik yang dirancang bernilai ekonomis dan prospektif untuk didirikan. Tahapan evaluasi ini meliputi estimasi modal investasi awal (*capital investment*), proyeksi laba bersih tahunan, perhitungan masa pengembalian modal (*payback period*), serta penentuan titik impas (*break-even point*). Komponen penting dalam evaluasi ini meliputi:

1. Modal (*Capital Investment*)
   a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)

      Dana yang dialokasikan untuk pengadaan aset fisik jangka panjang, seperti pembelian lahan, konstruksi bangunan, pembelian dan instalasi peralatan proses, serta sistem perpipaan dan instrumentasi.

   b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)

      Dana tunai yang diperlukan untuk menjalankan operasi pabrik di awal sebelum menerima pendapatan (seperti pembelian bahan baku awal, upah karyawan, dan biaya utilitas bulanan).

2. Biaya Produk (*Manufacturing Cost*)
   a. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)

      Pengeluaran yang berkaitan langsung dengan volume produksi, mencakup pembelian bahan baku, utilitas (air, listrik, bahan bakar), gaji operator, serta biaya pengemasan.

   b. Biaya Produksi Tidak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)

Biaya pendukung aktivitas produksi di area pabrik, seperti biaya supervisi, fasilitas kesehatan, keselamatan kerja (K3), dan pemeliharaan infrastruktur.

c. Biaya Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

Pengeluaran rutin yang nilainya tidak dipengaruhi oleh volume produksi, meliputi depresiasi (penyusutan nilai) alat, pajak bumi dan bangunan, serta asuransi pabrik.

3. Pengeluaran Umum (*General Cost*)

Biaya non-pabrik yang diperlukan untuk menjalankan roda perusahaan secara menyeluruh, meliputi biaya administrasi, gaji manajemen eksekutif, biaya riset dan pengembangan (R&D), serta biaya pemasaran dan distribusi produk.

4. Analisis Risiko pabrik

Evaluasi terhadap faktor ketidakpastian yang dapat memengaruhi kinerja finansial pabrik, seperti fluktuasi harga bahan baku di pasar, perubahan regulasi pemerintah, sensitivitas inflasi, hingga potensi gangguan operasional.

5. Analisis Kelayakan Ekonomi

a. *Return on Investment* (ROI)

Persentase keuntungan bersih tahunan terhadap total modal investasi untuk mengukur efisiensi pengembalian laba.

b. *Pay Out Time* (POT)

Jangka waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk mengembalikan modal investasi awal berdasarkan aliran kas masuk (cash flow).

c. *Break Even Point* (BEP)

Titik minimum kapasitas produksi di mana total pendapatan setara dengan total biaya pengeluaran, menandakan pabrik tidak untung maupun rugi.

d. *Shut Down Point* (SDP)

Batas kritis kapasitas produksi terendah di mana pendapatan hanya mampu menutup biaya variabel; jika produksi turun di bawah titik ini, pabrik secara ekonomi lebih baik ditutup untuk meminimalkan kerugian.

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

Nilai suku bunga tertinggi yang didapatkan dari seluruh investasi, yang dihitung dengan mempertimbangkan nilai waktu dari uang (*time value of money*) sepanjang umur ekonomis pabrik.

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan proses bersifat dinamis karena terus berfluktuasi mengikuti kondisi ekonomi global, kebijakan pasar, dan tingkat inflasi yang terjadi setiap tahun. Ketidakpastian faktor-faktor makroekonomi tersebut menyebabkan nilai jual alat di masa lalu tidak dapat digunakan secara langsung sebagai acuan harga mutlak saat ini. Guna mengatasi kendala tersebut, estimasi biaya pengadaan dilakukan secara ilmiah dengan memanfaatkan indeks harga operasional yang merekam jejak perubahan inflasi sektor industri. Dalam bidang teknik kimia, standar referensi yang valid dan diakui secara internasional untuk melakukan penyesuaian harga ini adalah *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI).

Berdasarkan metode penaksiran tersebut, analisis harga peralatan dalam perancangan ini ditetapkan menggunakan data basis pada tahun 2025. Data indeks

dari tahun basis tersebut kemudian digunakan sebagai landasan matematis untuk memproyeksikan dan mengonversi kebutuhan biaya pengadaan alat secara riil pada tahun pembangunan pabrik yang direncanakan, yaitu tahun 2030. Pendekatan dua periode waktu ini sangat krusial dalam evaluasi ekonomi prarancangan pabrik guna memastikan seluruh estimasi modal investasi tetap akurat, rasional, dan relevan terhadap nilai mata uang di masa depan saat proyek mulai dieksekusi.

Tabel 6. 1 Indeks harga alat pada tahun 1993 – 2030

No	Tahun	Indeks (Y_1)	No	Tahun	Indeks (Y_1)
1	1963	102,4	**34**	1997	386,5
2	1964	103,3	**35**	1998	389,5
3	1965	104,2	**36**	1999	390,6
4	1966	107,2	**37**	2000	394,1
5	1967	109,7	**38**	2001	443,7
6	1968	113,7	**39**	2002	453,2
7	1969	119	**40**	2003	462,8
8	1970	125,7	**41**	2004	472,3
9	1971	132,3	**42**	2005	481,8
10	1972	137,2	**43**	2006	491,3
11	1973	144,1	**44**	2007	500,8
12	1974	165,4	**45**	2008	510,4
13	1975	182,4	**46**	2009	519,9
14	1976	192,1	**47**	2010	529,4
15	1977	204,1	**48**	2011	538,9
16	1978	218,8	**49**	2012	548,4
17	1979	238,7	**50**	2013	558,0
18	1980	261,2	**51**	2014	567,5
19	1981	297	**52**	2015	577,0
20	1982	314	**53**	2016	586,5
21	1983	317	**54**	2017	596,1
22	1984	322,7	**56**	2018	605,6
23	1985	325,3	**57**	2019	615,1
24	1986	318,4	**58**	2020	624,6
25	1987	323,8	**59**	2021	634,1
26	1988	342,5	**60**	2022	643,7
27	1989	355,4	**61**	2023	653,2
28	1990	357,6	**62**	2024	662,7
29	1991	361,3	**63**	2025	672,2
30	1992	358,2	**64**	2026	681,7
31	1993	359,2	**65**	2027	691,3

No	Tahun	Indeks (Y_1)	No	Tahun	Indeks (Y_1)
32	1994	368,1	**66**	2028	700,8
33	1995	381,1	**67**	2029	710,3
34	1996	381,7	**68**	2030	719,8

Untuk memperkirakan harga peralatan, terdapat dua metode pendekatan yang dapat digunakan. Harga peralatan pada tahun pendirian pabrik dapat dihitung berdasarkan harga referensi tahun tertentu yang dikalikan dengan rasio indeks harga. Metode ini dikemukakan oleh Aries dan Newton (1955) dan dinyatakan dalam persamaan berikut:

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

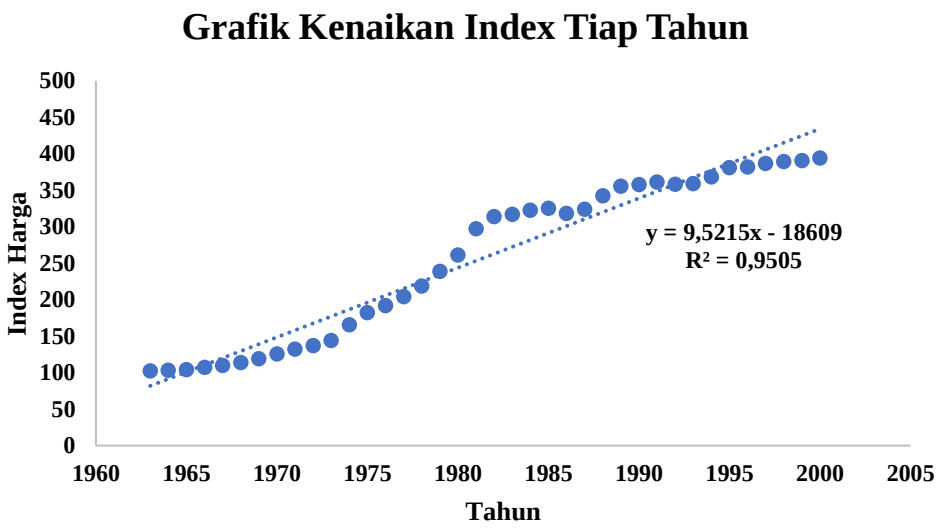
Dimana:

Ex: Harga peralatan pada tahun pembangunan pabrik (2030)

Ey: Harga peralatan pada tahun referensi (2014)

Nx: Indeks harga pada tahun 2030

Ny: Indeks harga pada tahun 2014



Gambar 6. 1 Grafik Regresi Linear Kenaikan *Index*

Berdasarkan analisis regresi linear yang ditunjukkan dalam grafik, diperoleh persamaan y = 9,5215x - 18609. Dengan menggunakan persamaan tersebut, nilai indeks CEPC (*Chemical Engineering Plant Cost Index*) pada tahun referensi 2014 adalah 566,3 sedangkan nilai indeks pada tahun perancangan 2030 diperkirakan mencapai 718,6. Berdasarkan nilai CEP indeks tersebut, dapat ditentukan harga alat proses dan alat utilitas sebagai berikut:

Tabel 6. 2 Harga Alat Proses

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Tangki *Green Ammonia*	T-01	1	567,5	719,8	$787.200,00	$998.526,66
Tangki Asam Sulfat	T-02	1	567,5	719,8	$931.500,00	$1.181.564,51
Tangki Asam Fosfat	T-03	1	567,5	719,8	$787.200,00	$998.526,66
Tangki *Coating Oil*	T-04	1	567,5	719,8	$28.800,00	$36.531,46
Silo ZA	S-01	1	567,5	719,8	$10.500,00	$13.318,76
Silo KCl	S-02	1	567,5	719,8	$10.500,00	$13.318,76
Silo Urea	S-03	1	567,5	719,8	$10.500,00	$13.318,76
Silo *Coating Powder*	S-04	1	567,5	719,8	$2.800,00	$3.511,67
Silo Produk	S-05	1	567,5	719,8	$4.900,00	$6.215,42
Separator	SP-011	1	567,5	719,8	$10.000,00	$12.684,54
Reaktor	R-01	1	567,5	719,8	$56.558,67	$71.742,05
Reaktor	R-02	1	567,5	719,8	$56.558,67	$71.742,05
Pug Mill	G-01	1	567,5	719,8	$25.500,00	$32.345,57
Granulator	G-02	1	567,5	719,8	$228.500,00	$289.841,64
Rotary Dryer	RD-01	1	567,5	719,8	$108.100,00	$137.119,83
Screen	SC-01	1	567,5	719,8	$24.600,00	$31.203,96
Rotary Cooler	RC-01	1	567,5	719,8	$121.100,00	$153.609,63
Coating Drum	X-01	1	567,5	719,8	$23.900,00	$30.316,04
Cyclone	CY-01	1	567,5	719,8	$4.500,00	$5.708,04
Belt Conveyor	BC-01	1	567,5	719,8	$17.100,00	$21.690,56
	BC-02	1	567,5	719,8	$17.100,00	$21.690,56
	BC-03	1	567,5	719,8	$17.100,00	$21.690,56
	BC-04	1	567,5	719,8	$27.100,00	$34.375,09
	BC-05	1	567,5	719,8	$32.200,00	$40.844,21

	BC-06	1	567,5	719,8	$37.500,00	$47.567,01
Nama Alat	**Kode Alat**	**Jumlah**	**NY**	**NX**	**EY**	**EX**
Belt Conveyor	BC-07	1	567,5	719,8	$32.200,00	$40.844,21
	BC-08	1	567,5	719,8	$17.100,00	$21.690,56
	BC-09	1	567,5	719,8	$17.100,00	$21.690,56
	BC-10	1	567,5	719,8	$48.200,00	$61.139,46
	BC-11	1	567,5	719,8	$12.400,00	$15.728,82
Screw Conveyor	SR-01	1	567,5	719,8	$9.700,00	$12.304,00
	SR-02	1	567,5	719,8	$16.600,00	$21.056,33
Pompa	P-01	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
	P-02	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
	P-03	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
	P-04	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
	P-05	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
	P-06	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
	P-07	1	567,5	719,8	$9.900,00	$12.557,69
Blower	BL-01	1	567,5	719,8	$7.400,00	$9.386,56
	BL-02	1	567,5	719,8	$109.700,00	$139.149,36
	BL-03	1	567,5	719,8	$2.800,00	$3.551,67
	BL-04	1	567,5	719,8	$91.500,00	$116.063,50
	BL-05	1	567,5	719,8	$108.300,00	$137.373,52
	BL-06	1	567,5	719,8	$5.800,00	$12.557,69
Heat Exchanger	HE-01	1	567,5	719,8	$2.800,00	$3.551,67
	HE-02	1	567,5	719,8	$2.800,00	$3.551,67
	HE-03	1	567,5	719,8	$3.500,00	$4.439,59
	CL-01	1	567,5	719,8	$1.800,00	$2.283,22
Vaporizer	VAP-01	1	567,5	719,8	$3.500,00	$4.439,59

Bag Filter	BF-01	1	567,5	719,8	$130.100,00	$330.051,62
	BF-02	1	567,5	719,8	$639.000,00	$2.431.625,52
	BF-03	1	567,5	719,8	$648.200,00	$3.288.846,45
TOTAL					**$5.361.117,34**	**$6.800.328,51**
					Rp 92.493.749.131,82	**Rp 117.324.027.657,05**

Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
Bak Sedimentasi	BU-01	1	567,5	719,8	$54.500,00	$69.130,72
Floakulator	TU-01	1	567,5	719,8	$211.100,00	$267.770,55
Klarifier	KL-01	1	567,5	719,8	$392.800,00	$489.248,57
Sand Filter	TU-02	1	567,5	719,8	$5.300,00	$6.772,80
Karbon *Filter*	TU-03	1	567,5	719,8	$59.600,00	$75.599,83
Bak Sementara	BU-02	1	567,5	719,8	$16.800,00	$21.310,02
Tangki Air *Service*	TPU-03	1	567,5	719,8	$20.900,00	$26.510,68
Tangki Klorinasi	TU-04	1	567,5	719,8	$111.200,00	$141.052,04
Tangki Air Bersih	TPU-04	1	567,5	719,8	$41.100,00	$52.133,44
Hot Basin	BU-03	1	567,5	719,8	$74.700,00	$94.753,48
Cooling Tower	CT-01	1	567,5	719,8	$12.300,00	$15.601,98
Screening	SCU-01	1	567,5	719,8	$36,72	$46,58
Kation Exchanger	KE-01	1	567,5	719,8	$3.000,00	$3.805,36
Anion Exchanger	AE-01	1	567,5	719,8	$3.000,00	$3.805,36
Tangki Kaporit	TPU-05	1	567,5	719,8	$1.000,00	$1.268,45
Daerator	DE-01	1	567,5	719,8	$6.500,00	$8.44,95
Boiler	BLU-01	1	567,5	719,8	$1.796.900,00	$2.279.284,25
Demin Water	TPU-06	1	567,5	719,8	$6.500	$8.44,95

Tangki H_2SO_4	TPU-07	1	567,5	719,8	$3.000,00	$3.805,36
Tangki NaOH	TPU-08	1	567,5	719,8	$8.700,00	$11.035,55
Tangki CaOH	TPU-01	1	567,5	719,8	$2.900,00	$3.678,52
Tangki Alum	TPU-02	1	567,5	719,8	$300,00	$380,54
Cold Basin	BU-04	1	567,5	719,8	$74.700,00	$94.753,48
Tangki *Hydrazine*	TPU-09	1	567,5	719,8	$6.600	$8.371,79
Kompresor	C-01	1	567,5	719,8	$55.100,00	$69.891,79
Tangki *Silica Gel*	TPU-12	1	567,5	719,8	$3.800,00	$4.820,12
Tangki Bahan Bakar	TPU-13	1	567,5	719,8	$400.000,00	$507.381,43
Turbin	TR-01	1	567,5	719,8	$1.100,00	$1.395,30
Generator	GU-01	1	567,5	719,8	$285.400,00	$362.016,65
Pompa	PU-011	2	567,5	719,8	$4.900,00	$12.430,85
	PU-02	2	567,5	719,8	$900,00	$2.283,22
	PU-03	2	567,5	719,8	$900,00	$2.283,22
	PU-04	2	567,5	719,8	$5.700	$14.460,37
	PU-05	2	567,5	719,8	$5.700	$14.460,37
	PU-06	2	567,5	719,8	$5.700	$14.460,37
	PU-07	2	567,5	719,8	$5.700	$14.460,37
	PU-08	2	567,5	719,8	$5.700	$14.460,37
	PU-09	2	567,5	719,8	$1.800,00	$4.566,43
	PU-10	2	567,5	719,8	$3.200,00	$8.118,10
	PU-11	2	567,5	719,8	$3.200,00	$8.118,10
	PU-12	2	567,5	719,8	$4.200,00	$10.655,01
	PU-13	2	567,5	719,8	$4.200,00	$10.655,01
	PU-14	2	567,5	719,8	$4.200,00	$10.655,01
	PU-15	2	567,5	719,8	$4.200,00	$10.655,01
	PU-16	2	567,5	719,8	$2.100,00	$5.327,51
	PU-17	2	567,5	719,8	$2.100,00	$5.327,51

	PU-18	2	567,5	719,8	$2.100,00	$5.327,51
	PU-19	2	567,5	719,8	$2.100,00	$5.327,51
	PU-20	2	567,5	719,8	$2.100,00	$5.327,51
	PU-21	2	567,5	719,8	$2.100,00	$5.327,51
Nama Alat	**Kode Alat**	**Jumlah**	**NY**	**NX**	**EY**	**EX**
Pompa	PU-22	2	567,5	719,8	$1.400,00	$3.551,67
	PU-23	2	567,5	719,8	$900,00	$2.283,22
TOTAL					$3.719.236	$4.812.940,01
					Rp64.420.490.049	**Rp83.357.908.648,95**

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi: 130.000 Ton/ Tahun

Pabrik beroperasi: 330 hari kerja

Umur alat: 10 Tahun

Kurs mata uang: 1 $ = Rp17.252,70 (Per 15 April 2026)

Didirikan: 2030

UMR Kota Gresik: Rp5.776.090 (tahun 2030)

6.3. Komponen Biaya

6.3.1. Modal Capital (*Capital Investment*)

1) *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment adalah biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik secara fisik (belum beroperasi). *Fixed Capital Investment* terdiri dari *Physical Plant Cost dan Direct Plant Cost*

Tabel 6. 4 *Physical Plant* (PPC)

Komponen	**Biaya**
PEC	Rp232.189.000.306,04
DEC	Rp58.047.250.076,51
Biaya Pemasangan	Rp99.841.270.131,60
Biaya Instrumentasi dan Kontrol	Rp69.656.700.091,81
Biaya Pemipaan	Rp199.682.540.263,20
Biaya Instalasi Listrik	Rp92.875.600.122,42
Biaya Bangunan	Rp151.970.344.449,12
Biaya Pengembangan Lahan	Rp232.189.000.306,04
Service Facilities	Rp185.751.200.244,84
Biaya *Land*	Rp91.182.206.669,47
Start Up Expenses Cost	Rp23.122.586,48
Total *Physical Plant Cost*	**Rp1.413.408.235.247,53**

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

Komponen	Biaya
Biaya Teknik dan Supervisi	Rp494.692.882.336,64
Biaya Konstruksi	Rp424.022.470.574,26
Contigenciest	Rp212.011.235.287,13
Total *Direct Plant Cost*	**Rp1.505.132.871.186,04**

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

Komponen	Biaya
Total PPC	Rp1.413.408.235.247,53
Total DPC	Rp1.130.726.588.198,03
Total *Fixed Capital Investment*	**Rp2.544.134.823.445,56**

2) *Working Capital Investment*

Working Capital Investment adalah modal yang dibutuhkan untuk menjalankan operasional pabrik dalam jangka waktu tertentu. Modal ini mencakup pengeluaran sehari-hari seperti pembelian bahan baku, gaji karyawan, biaya utilitas, dan kebutuhan operasional lainnya. Sumber modal untuk mendirikan suatu pabrik dapat berasal dari berbagai pihak, seperti pinjaman bank, dana pribadi, maupun investasi dari investor. Tujuan utama dari penanaman modal adalah untuk memperoleh keuntungan dari dana yang telah diinvestasikan. Adapun beberapa ciri investasi yang baik antara lain:

a. Dapat menghasilkan laba secara maksimal
b. Memiliki periode pengembalian modal yang relatif cepat
c. Didukung oleh aspek legalitas yang kuat, teknologi yang memadai, serta memenuhi standar keamanan dan keberlanjutan.

Tabel 6. 7 *Working Capital Investment*

Komponen	Biaya
Raw material inventory	Rp85.380.363.950,09
In process inventory	Rp25.821.654.501,95
Product inventory	Rp143.453.636.121,95
Available Cash	Rp143.453.636.121,95
Extended Credit	Rp3.442.887.266.926,79
Total *Working Capital Investment*	**Rp3.840.996.557.622,73**

Tabel 6. 8 *Total Capital Investment*

Komponen	Biaya
Total *Fixed Capital Investment (FCI)*	Rp2.544.134.823.445,56
Total *Working Capital Investment*	Rp3.840.996.557.622,73
Total *Capital Investment*	**Rp6.385.131.381.068,29**

6.3.2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing Cost Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk proses pembuatan produk. *Manufacturing Cost* merupakan jumlah dari *Direct Cost*. *Indirect Cost, Fixed Cost* yang selalu berkaitan dengan pembuatan suatu produk. *Manufacturing Cost* antara lain:

1) ***Direct manufacturing cost***

Direct Manufacturing Cost atau biaya langsung adalah seluruh pengeluaran yang secara langsung terkait dengan proses produksi suatu produk di pabrik. Biaya ini mencakup elemen-elemen seperti bahan baku utama, tenaga kerja langsung, serta biaya operasional mesin yang digunakan secara langsung dalam proses pembuatan produk.

Tabel 6. 9 *Direct Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya
Raw Material	Rp1.024.564.367.401,05
Biaya Pekerja Operasi	Rp18.278.160.000,00
Biaya *Direct Supervisory*	Rp4.569.540.000,00
Utilitas	Rp17.430.677.499,72
Biaya Perawatan dan Perbaikan	Rp178.089.437.641,19

Plant Supplies	Rp26.713.415.646,18
Royalty and Patent	Rp1.335.670.782,31
Total *Direct Manufacturing Cost*	**Rp1.270.981.268.970,45**

2) *Indirect manufacturing cost*

Indirect Manufacturing Cost atau biaya tidak langsung adalah biaya-biaya yang tidak secara langsung terlibat dalam proses produksi suatu unit produk, namun tetap diperlukan untuk mendukung kegiatan operasional pabrik. Biaya ini mencakup, antara lain, biaya pemeliharaan mesin, listrik umum, gaji staf pendukung (seperti bagian kebersihan dan keamanan), serta biaya administrasi pabrik.

Tabel 6. 10 *Indirect Manufacturing Cost*

Komponen	**Biaya**
Payroll Overhead	Rp3.655.632.000,00
Biaya Laboratorium	Rp5.483.448.000,00
Plant Overhead	Rp18.278.160.000,00
Packaging and Shipping	Rp15.983.552.741,66
Total *Indirect Manufacturing Cost*	**Rp43.400.792.741,66**

3) *Fixed manufacturing cost*

Fixed Manufacturing Cost atau biaya tetap adalah biaya yang dikeluarkan oleh pabrik secara rutin, baik saat proses produksi sedang berlangsung maupun saat pabrik tidak beroperasi. Biaya ini bersifat konstan dan tidak dipengaruhi oleh jumlah produksi atau lamanya waktu operasional. Contohnya meliputi sewa bangunan, gaji karyawan tetap, serta penyusutan peralatan.

Tabel 6. 11 *Fixed Manufacturing Cost*

Komponen	**Biaya**
Depreciation	Rp254.413.482.344,56
Property Taxes	Rp101.765.392.937,82

Insurances	Rp50.882.696.468,91
Total *Fixed Manufacturing Cost*	**Rp407.061.571.751,29**

Tabel 6. 12 *Fixed Manufacturing Cost*

Komponen	**Biaya**
Total *Indirect Manufacturing Cost*	Rp43.400.792.741,66
Total *Direct Manufacturing Cost*	Rp1.270.981.268.970,45
Total *Fixed Manufacturing Cost*	Rp407.061.571.751,29
Total *Manufacturing Cost*	**Rp1.721.443.633.463,40**

6.3.3. Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General Expenses atau pengeluaran umum merupakan biaya-biaya yang terkait dengan fungsi operasional perusahaan secara keseluruhan, namun tidak termasuk dalam kategori manufacturing cost. Pengeluaran ini dibutuhkan untuk mendukung kelancaran jalannya kegiatan perusahaan di luar proses produksi. Contohnya meliputi biaya administrasi, pemasaran, asuransi, utilitas kantor, serta gaji staf manajemen dan bagian keuangan.

Tabel 6. 13 *General Expenses*

Komponen	**Biaya**
Biaya Administrasi	Rp51.643.309.003,90
Sales	Rp86.072.181.673,17
Research	Rp34.428.872.669,27
Finance	Rp127.702.627.621,37
Total *General Expenses*	**Rp299.846.990.967,71**

Tabel 6. 14 Total Biaya Produksi

Komponen	**Biaya**
Total *General Expenses*	Rp299.846.990.967,71
Total *Manufacturing Cost*	Rp1.721.443.633.463,40
Total Biaya Produksi	**Rp2.021.290.624.431,10**

6.4. Analisa Keuntungan

6.4.1. Harga Dasar

Kapasitas Produksi:

Harga Dasar : $\frac{Total\ Biaya\ Produksi}{Kapasitas\ Produksi}$

: Rp15.548,39

6.4.2. Harga Jual

Harga jual yang ditetapkan sebaiknya tidak melebihi harga pasar. Berdasarkan hasil perhitungan, prediksi harga pupuk NPK 20-12-12 pada tahun 2030 adalah Rp19.590,97. Berdasarkan informasi tersebut, dengan margin keuntungan sebesar 31%, maka harga jual ditetapkan sebagai berikut:

Harga pasar pupuk NPK 20-12-12 2026 per 25 kg = Rp375.000

Harga pasar pupuk NPK 20-12-12 2030 per 25 kg = Rp495.750

Harga Jual ditetapkan : Harga Dasar + (Harga Dasar × 26 %)

: Rp19.590,97 per kg

Annual Sales (Sa) : Harga Jual × Jumlah Produksi

: Rp2.546.826.186.783,19 per tahun

6.4.3. Harga pendapatan

1) Keuntungan Sebelum Pajak

Keuntungan Sebelum Pajak : Total Penjualan − Total Biaya Produksi

: Rp744.539.968.293,01

2) Keuntungan Setelah Pajak

Perhitungan keuntungan setelah pajak mengacu pada tarif Pajak Penghasilan (PPh) Badan yang berlaku di Indonesia. Berdasarkan Undang-Undang HPP No. 7 Tahun 2021, tarif PPh Badan ditetapkan sebesar 22% dan berlaku mulai Tahun Pajak 2022 hingga saat ini. Oleh karena itu, keuntungan dihitung setelah dikurangi tarif pajak sebesar 22% dari keuntungan sebelum pajak.

Tarif Pajak : 22%

: Rp525.535.562.352,08

Keuntungan Setelah Pajak : Keuntungan Sebelum Pajak – Pajak

: Rp409.917.738.634,62

6.5. Analisa Risiko Pabrik

Analisis risiko pabrik dilakukan untuk mengevaluasi tingkat potensi bahaya dalam operasional suatu pabrik, apakah termasuk kategori risiko tinggi (*high risk*) atau rendah (*low risk*), dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya berbagai kejadian yang tidak diinginkan dan mencari langkah mitigasi yang sesuai. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, pabrik pupuk NPK diklasifikasikan sebagai pabrik dengan tingkat risiko tinggi (*high risk*), dengan sejumlah pertimbangan yang mendukung kesimpulan tersebut:

Tabel 6. 15 Analisa Risiko Pabrik

No	Parameter Risiko	Deskripsi	Risk	
			Low	High
1	Kondisi Operasi	Suhu maksimal yang digunakan 115°C Tekanan maksimal yang digunakan 1 atm	✓	
Bahan baku yang digunakan				
2	*Green Ammonia*	Toksisitas: *green ammonia* bersifat beracun apabila terhirup, menyebabkan luka bakar pada kulit dan kerusakan pada mata yang parah		✓
		Flammability: *green ammonia* termasuk gas yang mudah menyala		✓
		Explosion Limits: Memiliki batas ledakan di udara sekitar 15% (LFL/LEL) hingga 28% (UFL/UEL) berdasarkan volume.		✓
		Stabilitas: stabil dalam suhu dan tekanan standar	✓	
3	Asam Sulfat	Toksisitas: asam sulfat bersifat sangat korosif, apabila berkontak langsung dengan tangan menyebabkan luka bakar		✓
		Flammability: tidak mudah terbakar	✓	
		Explosion Limits: tidak memiliki batas ledakan	✓	
		Stabilitas: bereaksi sangat eksotermis jika terkena air atau basa kuat, dapat memicu percikan asam atau ledakan	✓	
4	Asam Fosfat	Toksisitas: asam fosfat bersifat sangat korosif, menyebabkan iritasi berat hingga luka bakar kimiawi pada kulit, mata, dan saluran pencernaan jika tertelan		✓
		Flammability: tidak mudah terbakar	✓	
		Explosion Limits: tidak memiliki batas ledakan	✓	
		Stabilitas: stabil dalam kondisi penyimpanan yang direkomendasikan	✓	
5	ZA padat	Toksisitas: toksisitas relatif rendah, hanya menyebabkan iritasi mekanis ringan pada mata atau saluran pernafasan akibat debu halusnya	✓	
		Flammability: tidak mudah terbakar	✓	
		Explosion Limits: tidak memiliki rentang batas ledakan yang berbahaya dalam kondisi normal	✓	
		Stabilitas: stabil pada suhu ruangan	✓	

Bahan baku yang digunakan				
6	Urea	Toksisitas: aman dalam kondisi normal, efek buruknya terbatas pada iritasi ringan kulit atau mata akibat paparan granul	✓	
		Flammability: tidak mudah terbakar	✓	
		Explosion Limits: tidak memiliki batas ledakan	✓	
		Stabilitas: stabil pada suhu dan tekanan normal	✓	
7	KCl	Toksisitas: hanya berisiko iritasi ringan pada mata dan hidung berbahaya apabila dikonsumsi dalam jumlah yang sangat masif	✓	
		Flammability: tidak dapat terbakar	✓	
		Explosion Limits: tidak memiliki batas ledakan	✓	
		Stabilitas: sangat stabil, tidak reaktif, dan tidak mengalami polimerisasi berbahaya dalam kondisi operasional standar	✓	
8	*Coating Oil*	Toksisitas: memiliki tingkat toksisitas rendah, namun apabila terkena paparan jangka panjang dapat menyebabkan iritasi ringan pada mata, kulit, dan saluran pernapasan	✓	
		Flammability: aman pada suhu ruang tetapi bisa menyala jika terpapar panas ekstrem atau sumber api	✓	
		Explosion Limits: tidak ada batas ledakan spesifik	✓	
		Stabilitas: bersifat stabil dan tidak akan mengalami polimerisasi berbahaya	✓	
9	*Coating Powder*	Toksisitas: tidak bersifat beracun, apabila terhirup dalam jumlah banyak dapat memicu mual, muntah, hingga risiko gagal ginjal	✓	
		Flammability: tidak mudah terbakar dalam kondisi operasional biasa	✓	
		Explosion Limits: Memiliki Batas Ledakan Minimum (*Minimum Explosive Concentration* / MEC) sebesar 20 - 70 g/m^3	✓	
		Stabilitas: Sangat stabil dan tidak terurai di bawah kondisi penyimpanan normal	✓	
Logistik dan Transportasi				
10		Transportasi Bahan Kimia Berbahaya Tanpa Protokol Khusus: Bahan seperti green ammonia, asam sulfat, dan asam fosfat diangkut tanpa kendaraan khusus (tangki		✓

		bertekanan atau kendaraan berlabel UN/DOT).		
Regulasi Pemerintah				
11	Lingkungan & K3	Lampiran XLVII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, menetapkan Suhu: 40°C Zat padat terlarut (TDS): 2.000 mg/L Zat padat tersuspensi (TSS): 50 mg/L Derajat Keasaman (pH): 6 - 9		✓
12	Keberadaan Pabrik	Pabrik Pupuk NPK yang mengombinasikan granulasi senyawa ammonium, sulfat, fosfat, urea, dan kalium, serta menggunakan agen pelapis (*Coating Oil* & *Coating Powder*) sudah banyak didirikan di Indonesia, diantaranya: 1. PT Pupuk Kaltim 2. PT Petrokimia Gresik 3. PT Pupuk Sriwidjaja	✓	

Berdasarkan hasil penilaian:

- Jumlah poin *low risk* : 29

- Jumlah poin *high risk* : 7

Dengan skor tersebut, maka secara keseluruhan pabrik ini dikategorikan sebagai *low risk*. Artinya, operasional pabrik memiliki potensi risiko teknis dan keselamatan yang relatif rendah dan dapat dikendalikan dengan baik, mengingat teknologi proses serta regulasi K3 untuk industri ini sudah sangat mapan di Indonesia. Sejalan dengan hasil penilaian tersebut, pendekatan low risk juga diterapkan dalam analisis kelayakan ekonomi pabrik. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas operasional yang tinggi akan memberikan kepastian investasi yang lebih baik, sehingga proyeksi parameter finansial dapat dicapai dengan tingkat volatilitas yang minimum guna memastikan investasi tetap aman dan layak secara ekonomi.

6.6. Analisa Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan perancangan pabrik dilakukan untuk mengevaluasi potensi keuntungan yang dapat diperoleh dari operasional pabrik. Studi kelayakan ekonomi terhadap pabrik Pupuk NPK bertujuan untuk menilai apakah proyek tersebut layak dan menguntungkan secara finansial.

Melalui analisis ini, dapat diketahui besarnya laba yang mungkin diperoleh, sehingga dapat diidentifikasi apakah pabrik memiliki prospek keuntungan yang tinggi atau rendah. Dengan demikian, pabrik dapat dikategorikan sebagai proyek yang ekonomis dan potensial, atau sebaliknya, tidak layak secara ekonomi. Ada beberapa cara yang dilakukan untuk melihat suatu kelayakan pabrik, antara lain :

6.6.1. Return on Invesment (ROI)

Return on Investment (ROI) merupakan indikator tingkat keuntungan tahunan yang diperoleh dari investasi yang telah dikeluarkan. ROI digunakan untuk menilai efisiensi investasi, terutama dalam konteks pendirian dan operasional pabrik. Pada umumnya resiko pabrik ditentukan berdasarkan nilai ROI sebelum pajak, jika ROI kurang dari 44% maka termasuk pabrik beresiko rendah dan pabrik dengan resiko tinggi memiliki nilai ROI lebih dari 44% (Aries & Newton, 1955). Persamaan yang digunakan untuk menghitung percent return on investment adalah sebagai berikut:

$$ROI\% = \frac{Laba\ Tahunan}{Fixed\ Capital\ Investment} x100\%$$

ROI Sebelum Pajak : 20,66%

ROI Setelah Pajak : 16,11%

6.6.2. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time (POT) merupakan periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi berdasarkan keuntungan bersih yang diperoleh setiap tahunnya. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan agar seluruh investasi awal dapat kembali. Pada pabrik dengan tingkat risiko rendah, batas maksimum POT yang dapat diterima adalah 5 tahun. Sementara itu, untuk pabrik dengan tingkat risiko tinggi, nilai POT maksimum yang dianjurkan adalah 2 tahun. POT dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{Keuntungan\ Tahunan + Depresiasi}$$

POT Sebelum Pajak : 3,2 tahun

POT Setelah Pajak : 3,8 tahun

6.6.3. Break Even Point (BEP)

Break Even Point (BEP) adalah titik impas, yaitu kondisi dimana total pendapatan sama dengan total biaya, sehingga perusahaan tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. BEP sangat penting dalam analisis kelayakan ekonomi karena dapat digunakan untuk menentukan batas minimum produksi dan penjualan yang harus dicapai agar investasi tidak mengalami kerugian. Melalui analisis BEP, dapat ditentukan harga jual minimum per unit serta jumlah unit produk yang harus dijual agar perusahaan mulai memperoleh keuntungan. Secara umum, nilai BEP untuk pabrik kimia berada pada kisaran 40% hingga 60% dari kapasitas produksi maksimum. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai BEP adalah sebagai berikut:

$$BEP = \frac{Fa + 0{,}3Ra}{Sa - va - 0{,}7Ra} x100\%$$

Keterangan:

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

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada kapasitas produksi maksimum

Va : *Annual Variable Cost* pada kapasitas produksi maksimum

Sa : *Annual Sales Value* pada kapasitas produksi maksimum

Tabel 6. 16 *Annual Fixed Manufacturing Cost* (Fa)

Komponen	**Biaya**
Depreciation	Rp254.413.482.344,56
Property Taxes	Rp101.765.392.937,82
Insurances	Rp50.882.696.468,91
Total	**Rp407.061.571.751,29**

Tabel 6. 17 *Annual Variable Cost* (Va)

Komponen	**Biaya**
Raw Material	Rp1.024.564.367.401,05
Packaging and shipping	Rp15.983.552.741,66
Biaya bahan utilitas	Rp17.430.677.499,72
Royalties and patens	Rp1.335.670.782,31
Total	**Rp1.059.314.268.424,74**

Tabel 6. 18 *Annual Regulated Expenses* (Ra)

Komponen	**Biaya**
Gaji Karyawan	Rp18.278.160.000,00
payroll overhead	Rp3.655.632.000,00
plant overhead	Rp18.278.160.000,00
Supervise	Rp4.569.540.000,00
Laboratory	Rp5.483.448.000,00
general expenses	Rp299.846.990.967,71
Maintenance	Rp178.089.437.641,19
plant supplies	Rp26.713.415.646,18
Total	**Rp554.914.784.255,07**

Dengan menggunakan data yang sudah didapatkan pada tabel diatas maka didapatkan nilai BEP sebesar 52,18%

6.6.4. Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point (SDP) adalah kondisi kritis dimana aktivitas produksi harus dihentikan karena operasi pabrik tidak lagi memberikan keuntungan secara ekonomi. Penghentian produksi dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti meningkatnya *variable cost* secara signifikan atau keputusan manajerial yang didasarkan pada ketidakefisienan proses produksi.

Pada titik ini, biaya yang dibutuhkan untuk mempertahankan operasional pabrik lebih tinggi dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk menutup pabrik dan membayar *fixed cost*. Dengan kata lain, melanjutkan produksi justru akan menyebabkan kerugian yang lebih besar daripada menghentikannya.

Secara umum, shut down point menggambarkan persentase kapasitas minimum yang harus dicapai oleh pabrik agar tetap layak beroperasi. Jika dalam satu tahun pabrik tidak mampu memenuhi kapasitas minimum tersebut, maka penghentian produksi menjadi langkah yang paling rasional dari sisi ekonomi. Adapun rumus atau persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *Shut Down Point* (SDP) umumnya dinyatakan dalam bentuk:

$$SDP = \frac{0{,}3Ra}{Sa - va - 0{,}7Ra} x100\%$$

Didapatkan SDP: 15,15%

6.6.5. Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)

Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) merupakan estimasi tingkat keuntungan tahunan yang diperoleh dari suatu proyek, yang dihitung. DCFRR memperhitungkan bahwa investasi yang dilakukan tidak akan langsung kembali setiap akhir tahun, melainkan secara bertahap selama masa hidup proyek. Oleh

karena itu, perhitungan ini sangat berguna untuk mengevaluasi kelayakan proyek jangka panjang, termasuk dalam industri kimia. Secara umum, proyek dianggap layak secara ekonomi jika nilai DCFRR melebihi batas minimum yang ditetapkan, yaitu sebesar 1,5 kali suku bunga bank. Adapun persamaan dasar untuk menghitung DCFRR adalah mencari tingkat diskonto (*discount rate*, biasanya dilambangkan sebagai i) yang memenuhi persamaan berikut:

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

Keterangan:

N	: Umur Pabrik	WC	: *Working Capital*
CF	: *Cash Flow* Setelah Pajak	SV	: *Salvage Value* (10%FCI)
FC	: Keuntungan Setelah Pajak	I	: *Interest/ Discounted Cash Flow*

Sebagai perhitungan digunakan data sebagai berikut:

FC : Rp3.386.548.960.168,60

WC : Rp4.279.548.041.470,71

SV : Rp338.654.896.016,86

CF : Rp1.226.039.951.350,98

N : 10 tahun

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

Suku bunga deposit : 4,75 %

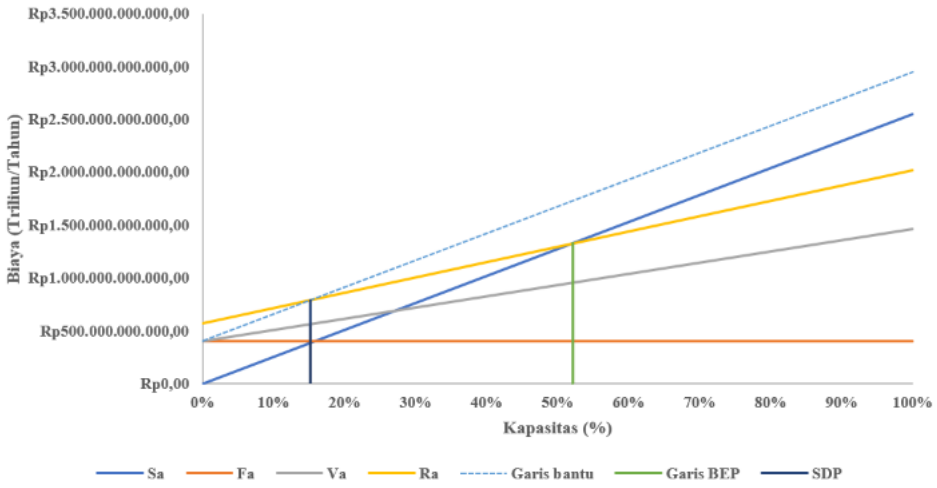
Suku bunga minimum : 7,13 %

Persentase DCFRR : 24,18 %

6.6.6. Hasil Analisa

Setelah dilakukan seluruh perhitungan parameter ekonomi seperti ROI, POT, BEP, SDP, hingga DCFRR, diperoleh grafik hubungan antara kapasitas produksi (%) terhadap biaya (triliun/tahun) yang ditunjukkan pada Grafik dibawah ini. Grafik ini memberikan gambaran visual mengenai kondisi operasional pabrik pada berbagai tingkat kapasitas, serta titik-titik kritis dalam aspek finansial.

Grafik evaluasi ekonomi berikut menggambarkan hubungan antara kapasitas produksi (dalam persentase) terhadap biaya operasional (dalam triliun rupiah per tahun). Beberapa garis penting yang ditampilkan mencakup biaya tetap (FA), biaya variabel (VA), total biaya (RA), pendapatan penjualan (SA), serta dua indikator utama kelayakan ekonomi, yaitu *Break Even Point* (BEP) dan *Shut Down Point* (SDP). Visualisasi ini memberikan gambaran sejauh mana pabrik mampu beroperasi secara finansial dengan aman.



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

Garis pendapatan (SA) meningkat secara linier dari titik nol hingga mencapai Rp2.546.826.186.783,19 pada kapasitas penuh 100%, mencerminkan bahwa harga

jual produk diasumsikan konstan pada berbagai tingkat produksi. Biaya tetap (FA) ditunjukkan sebagai garis horizontal sebesar Rp407.061.571.751,29, menandakan bahwa nilai ini tidak berubah terlepas dari tingkat aktivitas produksi. Sementara itu, biaya variabel (VA) meningkat secara proporsional terhadap kapasitas, dari nol hingga Rp1.466.375.840.176,03. Total biaya produksi, sebagai penjumlahan FA, VA dan RA, naik hingga Rp3.894.728.036.358,42 pada kapasitas maksimal.

Break Even Point (BEP) terjadi pada kapasitas 55,30%, dengan total pendapatan dan biaya masing-masing sebesar Rp1.329.027.665.218,95. Pada titik ini, besar biaya produksi sama dengan besar biaya penjualan pada kapasitas ini pabrik tidak mengalami laba maupun rugi. Posisi BEP yang berada didalam *range* 40-60% menunjukkan efisiensi yang cukup baik karena pabrik tidak perlu beroperasi secara penuh untuk mencapai titik impas. Adapun *Shut Down Point* (SDP) berada pada kapasitas 15,15% dimana kerugian pada titik ini tidak menutupi biaya modal.

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

Tabel 6. 19 Kesimpulan Analisa Kelayakan Ekonomi

Kriteria	Terhitung	Persyaratan	Keterangan
ROI	Sebelum pajak: 20,66% Sesudah pajak: 16,11%	ROI *before tax* Min 11% *Low risk*	Memenuhi
POT	Sebelum pajak: 3,2 tahun Setelah pajak: 3,8 tahun	POT *before taxes* Max 5 tahun	Memenuhi
BEP	52,18%	*Range* 40-60%	Memenuhi
SDP	15,15%	*Range* 20-40%	Memenuhi
DCFRR	24,18%	>1,5 bunga bank = 4,75%	Memenuhi

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perancangan pupuk NPK dari *green ammonia* kapasitas 130.000 ton/tahun baik ditinjau secara teknis maupun ekonomi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

a. Pendirian pabrik pupuk NPK bertujuan untuk mendukung keberlanjutan industri pertanian ramah lingkungan, memenuhi kebutuhan pupuk domestik secara lokal, sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan baku amonia konvensional berbasis fosil melalui pemanfaatan *green ammonia*.
b. Pabrik didirikan di daerah Bungah, Gresik dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku yang dekat dengan pelabuhan internasional, kedekatan dengan pasar industri pengguna pupuk NPK, serta tersedianya tenaga kerja berkualitas dengan biaya relatif kompetitif.
c. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan. Pabrik ini layak didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut:
    1. *Return on Investment* (ROI)
        a) ROI sebelum pajak : 20,66%
        b) ROI setelah pajak : 16,11%
    2. *Pay Out Time* (POT)
        a) POT sebelum pajak : 3,2 tahun
        b) POT setelah pajak : 3,8 tahun
    3. *Break Event Point* (BEP) : 52,18%
    4. *Shut Down Point* (SDP) : 15,15%

5. Nilai *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR): 24,18%

d. Berdasarkan parameter-parameter kelayakan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik pupuk NPK dari *green ammonia* dengan kapasitas 130.000 ton/tahun ini layak untuk dikaji lebih lanjut dari aspek teknis, ekonomi maupun lingkungan.

7.2 Saran

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

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

DAFTAR PUSTAKA

Alibaba Group. (n.d.). Alibaba.com: Global Trade Starts Here. http://www.alibaba.com/. Diakses Pada Tanggal 3 Oktober 2025.

Ayres, E. E. (1929, October). Amyl alcohols from the pentanes. Industrial and Engineering Chemistry. The Sharples Solvents Corporation, Philadelphia, PA.

Badan Pusat Statistik. (n.d.). Badan Pusat Statistik. https://www.bps.go.id/id. Diakses Pada Tanggal 28 September 2025

Bank Indonesia. (2025, 23 April). BI-Rate Tetap 5,75%: Mempertahankan Stabilitas, Mendukung Pertumbuhan Ekonomi https://www.bi.go.id/id/publikasi/ruangmedia/newsrelease/Pages/sp_278425.aspx. Diakses pada 23 Oktober 2025.

Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2002). Transport phenomena (2nd ed.). John Wiley & Sons.

BMKG. (2025). Prakiraan Cuaca Gresik. Diakses dari https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca/35.25. Diakses pada 15 April 2026.

Brown, G G. (1959). Unit Operations. CBS, New Delhi

Brownell, L E. Young, E H. (1959). Equipment Design. John Wiley & Sons, Inc. New York.

CNLIGHT Group. (n.d.). Bleaching Earth Manufacturer. https://www.bleachingearth.cn/. Diakses Pada Tanggal 18 Januari 2026.

Coulson, J.M., and Richardson, J.F., 202, “Chemical Engineering Design”, 5ed edition, vol. 6, Pergamon Press, Oxford

Delta Cooling Towers, Inc. (n.d.). TM Series Induced Draft Towers. Diakses dari https://deltacooling.com/products/cooling-towers/tm-series-induced-draft-towers. Diakses pada 28 Maret 2026.

Dendi, Supriyono, & Putra, B. (2019). Pengaruh Pemberian Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Rumput Meksiko (Euchlaena Mexicana) Padatanah Ultisol. Stock Peternakan 1(1), 1-10.

Echemi. (n.d.). Shandong Haihang Chemical Co., Ltd. | Echemi. https://www.echemi.com/shop-us20180832100010082/index.html. Diakses Pada Tanggal 4 April 2026.

Engel, T., & Reid, P. (2006). Physical Chemistry (3rd ed.). Pearson Education.

Evans, Frank L.1979. Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants Vol.2, Second Edition.

Ezell, M. J., Wang, W., Ezell, A. A., Soskin, G., & Finlayson-Pitts, B. J. (2002). Kinetics of reactions of chlorine atoms with a series of alkenes at 1 atm and 298 K: Structure and reactivity. Physical Chemistry Chemical Physics, Advance Article.

Geankoplis, C. (1978). Transport Process and Unit Operations, 3ed edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Gillette, L., & Price, J. F. (n.d.). Amyl compounds from pentane. In R. L. Kenyon & G. C. Inskeep (Eds.), Sharples Chemicals, Inc., Wyandotte, Michigan.

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). Basic Econometrics (5th ed.). McGraw-Hill Irwin.

Haihang Industry Co., Ltd. (n.d.). Haihang Industry. https://haihangchem.com/. Diakses Pada Tanggal 2 Maret 2026.

Haltermann Carless. (n.d.). Haltermann Carless – Performance Fuels & Hydrocarbon Solutions. https://www.haltermann-carless.com/. Diakses Pada Tanggal 17 Mei 2026.

Hamid, A. (2005). Kinetics of the reaction and model simulation for diammonium phosphate (DAP) production. Journal of Chemical and Process Engineering, 12(2), 78-85.

Hariyanto, A., Rustam, R., & Rahmayetty, R. (2020). Sintesis dan karakterisasi kalsium fosfat dari cangkang telur dengan metode presipitasi menggunakan asam fosfat. Jurnal Integrasi Proses, 9(1), 34-40.

Huntsman Corporation. (n.d.). Huntsman. https://www.huntsman.com/. Diakses Pada Tanggal 2 Januari 2026.

Jasa Gypsum. (n.d.). Biaya Bangun Rumah per Meter Gresik. Diakses dari https://www.jasagypsum.com/berapa-biaya-bangun-rumah-per-meter-gresik/. Diakses pada 30 April 2026.

Jurayev, R. S., Eshkulov, B. R. U., and Kakhkhorov, N. T. U. Production of Complex & Mixed Fertilizers by Acidic Processing of Phosphorites+. Journal English Proceeding. 67(59), 1-7.

Jurnal Maritim. (2017, 22 Agustus). Mengenal Oil Tanker dan Chemical Tanker. https://jurnalmaritim.com/mengenal-oil-tanker-dan-chemical-tanker/. Diakses pada 12 April 2026.

Kelley Chemical Packing. (n.d.). Metal Raschig Ring with SS304/316. Diakses dari https://www.kelleychempacking.com/metal-raschig-ring-product/. Diakses pada 12 Mei 2026.

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (n.d.). Direktori Produk TKDN. https://tkdn.kemenperin.go.id. Diakses Pada Tanggal 7 Februari 2026.

Kenyon, R. L. 1950. Industrial engineering Chemical. New York

Kern, D. Q. (1965). Process Heat Transfer. Singapore: McGraw- Hill Book Company, Inc.

Kirk, R. E. Othmer, D. F. (1978). Encyclopedia of Chemical Engineering Technology. New York: The Interscience Publisher Division of John Wiley and Sons Inc.

Lestari, A. Y. D. (2023). Materi Kuliah Utilitas Pabrik [PowerPoint slides, slide 9]. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Islam Indonesia.

Lukito, A., Pratiwi, D., & Setiawan, B. (2023). Pengaruh jenis dan konsentrasi binder terhadap kekuatan mekanis dan stabilitas fisik granul pupuk NPK. Jurnal Rekayasa Proses, 17(1), 45-53.

Manaroinsong, G., Pangkey, M.S., & Mambo, R. (2023). Pemberdayaan Masyarakat Petani Sayur Di Desa Palelon Kecamatan Modoinding. Jurnal Administrasi Publik, 3(9), 223-235.

Marbun, D. M., & Sinaga, J. (2021). Perancangan pompa sentrifugal untuk kebutuhan air bersih di Fakultas Teknik Universitas Darma Agung. Jurnal Teknologi Mesin UDA, 2(2), 76–84.

Matches. (n.d.). Reactor cost estimate. Diakses dari http://www.matche.com/equipcost/Reactor.html. Diakses pada 14 Februari 2026.

Mc. Ketta, John.(2002). Encyclopedia Chemical Process and Design", Marchell Dekker Inc., New York.

Nahara, A. R., Mustafa, A. A., & Zuchrillah, D. R. (2021). Pemilihan Jenis Reaktor pada Proses Mixed Acid Route di Pabrik Pupuk NPK. Jurnal Teknik ITS, 10(2), 2337-3539.

Nugroho, A. D., Sabrina, D., Pratiwi, I. A., Yerizam, M., & Anerasari. (2021). Rancang Bangun Absorber Ammonia (Ditinjau Dari Laju Alir, Tinggi Packing Dan Variasi Packing Terhadap Konsentrasi Ammonia). Jurnal Kinetika, 12(03), 1-5.

Perry, R.H. and Green, D.W., 1997, Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th ed.,McGraw-Hill Book Company, New York.

Pertamina. (2024, 3 Januari). Kapal Tanker dan Peran Vitalnya dalam Industri Minyak Indonesia. https://onesolution.pertamina.com/Insight/Page/kapal-tanker-dan-peran-vitalnya-dalam-industri-minyak-indonesia. Diakses pada 18 Desember 2025.

Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). Plant design and economics for chemical engineers (4th ed.). McGraw-Hill.

Powell, S. T. (1954). Water Conditioning for Industry. New York: McGraw-Hill.

Powlson, D. S., & Dawson, C. J. (2022). Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: Implications for ammonia volatilization. Soil Use and Management, 38(1), 622-634.

Putri, R. A., & Noor, T. I. (2018). Analisis Pendapatan Dan Tingkat Kesejahteraan Rumah Tangga Petani Padi Sawah. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroinfo Galuh, 5(1), 729-737.

Rahadiansyah Wiratama, R. & Tritjahjono, R., I. (2021). Perancangan Mesin Pengisi Larutan Asam Sulfat (H2SO4) Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD). Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung, 4-5 Agustus 2021.

Ries, H., & Newton, R. F. (1955). Principles of Engineering Economy. New York: Ronald Pres

Salim, T., Tarigan, D. M., & Haireen, R. (2025). Pengaruh Pemberian Pupuk Npk 15:15:15 Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selasih (Ocimum Basilicum), Mint (Mentha Spp) Dan Sambung Nyawa (Gynura Procumbens). Jurnal Agrotek ,9(1) , 66-81.

Salmon, N., & Banares-Alcantara, R. (2021). A review of the potential of green ammonia for long-term energy storage and carrier. Energy & Environmental Science, 14(12), 6294-6319.

Samar Swify, S., Mazeika, R., Baltrusaitis, J., Drapanauskaite, J., & Causkaite, K. B. (2024). Review: Modified Urea Fertilizers and Their Effects on Improving Nitrogen Use Efficiency (NUE). Journal Sustainability,16(188), 1-20.

Senzhuo Industry Co., Ltd. (n.d.). Senzhuo Industry. https://www.senzhuoindustry.com/. Diakses Pada Tanggal 2 Oktober 2025.

Smith, J. M. (2018). Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition.Singapore : McGraw-Hill.

Sularso & Suryono. (2001). Tata Air di Permukiman. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.

Treybal, R. E (1981) Mass- Transfer Operations. Singapore: McGraw- Hill Book Company, Inc.

Ulrich, G. D. 1984. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. New York: John Wiley and Sons.

Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP)

Vatavuk, W. M. (2002). Updating the Plant Cost Index. Chemical Engineering, 109(1), 62–70. Diakses dari https://www.chemengonline.com/Assets/File/CEPCI_2002.pdf Diakses pada 22 April 2026.

Walas, S. M. (1990). Chemical Process Equipment, Selection and Design. United States of America : Butterworth- Heinemann.

Weber, P. (1935). Chlorination of normal pentane and isopentane (Doctoral dissertation, Purdue University).

Wenzhou Nuoao Chemical Co., Ltd. (n.d.). Wenzhou Nuoao Chemical Co., Ltd. http://www.nuoaochem.com/wz_con_en.html. Diakses Pada Tanggal 2 November 2025.

Widiowati, L. R., Hartatik, W., Setyorini, D., & Trisnawati,Y. (2022). Pupuk Organik Dibuatnya Mudah Hasil Tanam Melimpah. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 1-64

World Health Organization. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. Geneva: WHO.

Yaws, C. L. (1999). Chemical Properties Handbook. New York: McGraw-Hill.

YB Chemicals. (n.d.). YB Chemicals. https://www.ybchemicals.com/. Diakses Pada Tanggal 27 Oktober 2025.

LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR

1. Reaktor Pre-Netralizer

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-01
Fungsi	Mereaksikan amonia (NH_3), asam sulfat (H_2SO_4) dan asam fosfat (H_3PO_4) untuk menghasilkan ZA dan MAP
Jenis/Tipe	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	2
Harga, Rp	1.237.744.026,57
Kondisi Operasi	
Suhu,˚C	115
Tekanan, atm	1
Sifat Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 type II Grade 316*
Diameter (ID) Shell, m	1,8689
Tebal Shell, in	0,1881
Tinggi Total, m	4,0444
Jenis Head	Thorispherical Flanged & Dished Head
Spesifikasi Khusus	
Tipe Pengaduk	6 Vertical Blades Flat Turbine
Diameter Pengaduk	0,6230
Kecepatan Pengaduk, rpm	77,595
Power Pengaduk, hp	40
Jumlah Baffle	4
Ukuran Buffle, m	0.1868
Jenis Coolant	Air
Kebutuhan Coolant, kg/jam	124,9
Luas Area Transfer Panas, m^2	1,5399
Ud ($W/m^2.K$)	340,6957
Tebal Jaket, m	0,003

Di dalam reaktor terjadi reaksi antara amonia, asam sulfat dan asam fosfat yang membentuk amonium sulfat (ZA) dan monoamonium fosfat (MAP). Berikut adalah persamaan reaksinya:

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$
Amonia Asam Sulfat Amonium Sulfat

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$$
Amonia Asam Fosfat Monoamonium Fosfat

1.1 Neraca Massa

Tabel 1.1 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input						Output	
	Arus 2		Arus 5		Arus 6		Arus 7	
	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam
NH_3	78,72	1338,25	-	-	-	-	-	-
H_2SO_4	-	-	29,16	2.857,26	-	-	2,92	285,73
H_3PO_4	-	-	-	-	29,16	2.857,26	2,92	285,73
$(NH_4)_2SO_4$	-	-	-	-	-	-	26,24	3.463,70
$NH_4H_2PO_4$	-	-	-	-	-	-	26,24	3.017,62
H_2O	0,37	6,69	3,17	57,15	52,37	942,61	55,91	1.006,45
Total	**79,09**	**1.344,94**	**32,33**	**2.914,41**	**81,52**	**3.799,87**	**114,23**	**8.059,22**
Total In-Out	**8.059,22**						**8.059,22**	

1.2 Menentukan Jenis Reaktor

1. Kompatibilitas terhadap sistem reaksi fase cair dominan.
2. Efektivitas pencampuran intensif untuk menjamin homogenitas reaktan.
3. Peningkatan koefisien perpindahan massa antara fase gas amonia dan fase cair.
4. Optimalisasi pengendalian suhu pada reaksi yang bersifat eksotermik.
5. Stabilitas operasional dalam mencapai kondisi tunak (steady-state)

1.3 Perancangan Reaktor

Waktu Tinggal : 1,5 jam

Konversi Reaksi 1 terhadap H_2SO_4 : 90%

Konversi Reaksi 2 terhadap H_3PO_4 : 90%

1.4 *Design Equation*

1) Densitas Campuran

Tabel 1.2 Densitas Campuran Reaktor

Komponen	**Densitas (kg/m^3)**	**Massa (kg/jam)**	**Fraksi Massa**	**ρ campuran (kg/m^3)**
NH_3	401,657	1.338,25	0,17	68,190
H_2SO_4	1.799,223	2.857,26	0,35	63,884
H_3PO_4	1.739,294	2.857,26	0,35	616,637
H_2O	945,517	1.006,448	0.,12	118,077
Total	**4.894,6921**	**8.059,22**	**1**	**1.440,790**

Densitas Campuran = 1.440,790 kg/m^3

2) Kecepatan Aliran Volumetrik

$$Fv = \frac{massa\ umpan}{densitas\ camuran}$$

= 5,594 m^3/jam

= 5.593,612 L/jam

3) Konsentrasi Umpan

Tabel 1.3 Konsentrasi Umpan

Cao (reaksi 1)	0,0141 kmol/L	14,0733 mol/L
Cao (reaksi 2)	0,0014 kmol/L	1,4073 mol/L
Cao Total	0,0155 kmol/L	15,4806 mol/L

Cbo (reaksi 1)	0,0052 kmol/L	5,2123 mol/L
Cbo (reaksi 2)	0,0005 kmol/L	0,5212 mol/L
Cbo Total	0,0057 kmol/L	5,7335 mol/L

Konsentrasi mula mula Cao (reaksi 1) = 9,3821 mol/L

Konsentrasi mula mula Cao (reaksi 2) = 0,9382 mol/L

Konsentrasi mula mula Cbo (reaksi 1) = 5,2123 mol/L

Konsentrasi mula mula Cbo (reaksi 2) = 0,5212 mol/L

4) Kinetika Reaksi

a. Reaksi 1 Pembentukan Amoniun Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$)

Reaksi orde 2

Reaksi *irreversible*

$$\boldsymbol{k = A\ x\ exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)}$$

Keterangan:

k = konstanta kecepatan reaksi

T = suhu reaksi (K)

Ea = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (L/mol.s)

R = Konstanta Gas Ideal

Tabel 1.4 Kinetika Reaksi 1

Ea	56.890,168	J/mol
R	8,314	J/mol.K
T	388	K
A	$3{,}3641 \times 10^7$	L/mol.s
k	0,7374	L/mol.s

b. Reaksi 2 Pembentukan Monoamoniun Fosfat ($NH_4H_2PO_4$)

Reaksi orde 2

Reaksi *irreversible*

$$\boldsymbol{k = A\ x\ exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)}$$

Keterangan:

k = konstanta kecepatan reaksi

T = suhu reaksi (K)

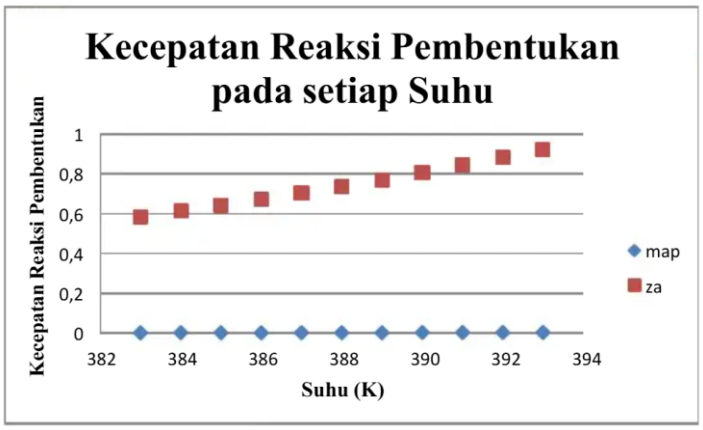
Ea = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (L/mol.s)

R = Konstanta Gas Ideal

Tabel 1.5 Kinetika Reaksi 2

Ea	76.384,168	J/mol
R	8,314	J/mol.K
T	388	K
A	$3{,}3641 \times 10^7$	L/mol.s
k	0,0014789	L/mol.s



Gambar 1.1 Grafik Kecepatan Reaksi Pembentukan pada Setiap Suhu
(Sumber: Manual Book Petrokimia, 2012)

Dilihat dari Gambar 1.1 Grafik Kecepatan Reaksi Pembentukan pada Setiap Suhu kecepatan pembentukan Amoniun Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$) dan Monoamonium Fosfat ($NH_4H_2PO_4$) dapat diasumsikan k yang dipakai adalah k pembentukan Monoamonium Fosfat ($NH_4H_2PO_4$) karena nilainya lebih kecil pada setiap rentang suhu.

5) Waktu Tinggal Reaktor

$$\tau = \frac{C_{A0} \cdot X}{k \cdot C_A^2}$$

τ = 1,5 jam

6) Volume Reaktor

Fv . τ = 23.474,28 L

= 23,4743 m^3

Over Design 20%= 28,1691 m^3

7) Optimasi Reaktor

Tabel 1.6 Jumlah 1 Buah Reaktor

Volume Reaktor	28,1691	m3
Fv	5,5936	m3/jam
k	5,04	m3/kmol/jam
x	90%	-
Waktu Tinggal	5,5	jam

Tabel 1.7 Jumlah 2 Buah Reaktor

Volume Reaktor	4,2724	m3
Fv	5,5936	m3/jam
k	5,04	m3/kmol/jam
x1	76%	-
x2	90%	-
Waktu Tinggal	0,8	jam

Tabel 1.8 Jumlah 3 Buah Reaktor

Volume Reaktor	1,9579	m3
Fv	5,5936	m3/jam
K	5,04	m3/kmol/jam
x1	67%	-
x2	84%	-
x3	90%	-
Waktu Tinggal	0,4	jam

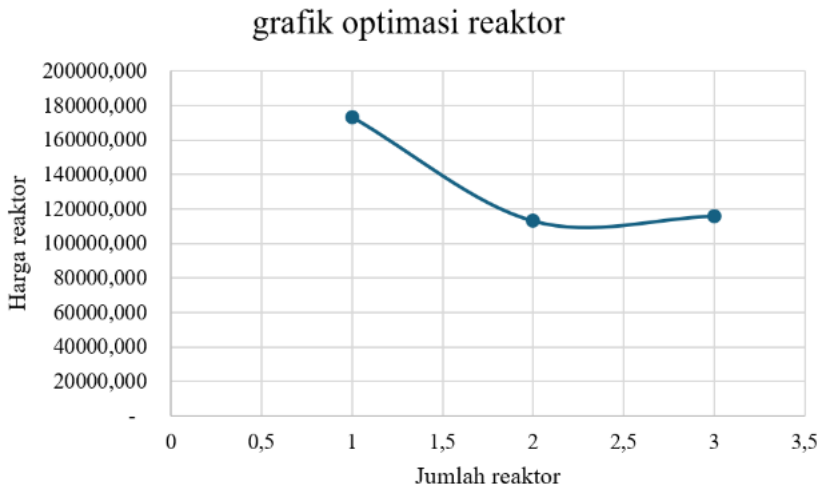
8) Harga Reaktor

Untuk mempertimbangkan jumlah reaktor dengan harga minimal dipilih *Stainless Steel 316* sebagai bahan pembuatan reaktor.

Tabel 1.9 Perbandingan Harga Reaktor

Jumlah Reaktor	**Volume Shell (m^3)**	**Volume Shell (Galon)**	**Profil Harga**	**Biaya**
1	28,17	7.441,49	$173.365,32	$173.365,32
2	4,2724	1.128,65	$56.558,87	$113.117,75
3	1,9579	517,22	$38.647,12	$115.941,37

9) Jumlah Reaktor Optimum



Gambar 1.2 Grafik Optimasi Reaktor

Penggunaan dua reaktor menunjukkan biaya paling efisien, sementara penambahan jumlah reaktor secara bertahap menyebabkan lonjakan biaya yang cukup signifikan. Dengan mempertimbangkan aspek ekonomi dan efisiensi proses, maka dipilih penggunaan dua reaktor sebagai opsi yang paling optimal dalam perancangan sistem ini.

10) Dimensi Reaktor

Perbandingan tinggi reaktor yang digunakan adalah H = D *(Brownell & Young)* dengan menggunakan faktor keamanan atau *over design* sebesar 20%, sehingga diperoleh:

a. Volume *over desig*n (20%) = volume reaktor x 1,2

= 4,2724 m^3 x 1,2

= 5,1268 m^3

b. Diameter Reaktor = 1,8689 m

= 6,1315 ft

= 73,5789 in

c. V *dish* = 0,000049 x D^3

= 0,00031 m^3

= 0,0113 ft^3

d. V *sf* = 8.504,0557 in^3

= 4,9213 ft^3

= 0,3733 m

= 0,1396 m^3

e. V *head* = 0,1396 m^3

f. V reaktor = 5,4062 m^3

g. V *bottom* = 0,0698 m^3

h. V cairan = 5,0571 m^3

i. Tinggi cairan = 1,8434 m

11) Tekanan *Design*

a. P hidrostatis = 3,7761 Psi

b. P reaksi = 17,6352 Psi

c. P operasi = P hidrostatis + P reaksi

= 21,4113 Psi

= 1,4569 atm

d. P *design* = 1,2 x P operasi

= 25,6936 Psi

= 1,7483 atm

12) Tebal *Shell*

Dalam menghitung ketebalan dinding *shell* atau reaktor menggunakan persamaan 14.34, buku *Brownell & Young*, 1959:275:

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

Keterangan:

t_s = Tebal *shell* (in)

R = Jari-jari *shell*

f = *Allowable stress*

C = *Corrosion allowance*

P = Tekanan design

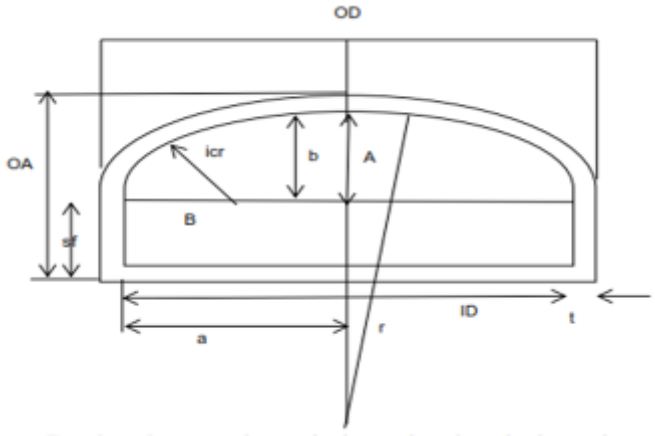
E = Efisiensi sambungan (80%)

Maka nilai tebal *shell* adalah:

$$ts = \frac{25{,}6936 \times 36{,}7894}{(18.750 \times 0{,}80) - (0{,}6 \times 25{,}6936)} + 0{,}125 = 0{,}1880\ in$$

Kemudian diambil t_s standar: ¼ = 0,25 in (*Brownell & Young*, 1959)

13) *Head*



Bentuk *Head*: *Torispherical Head*

Bahan Konstruksi: *Stainless Steel SA-240 Grade M type 316*

Alasan pemilihan bentuk *head torispherical* adalah:

1. Digunakan untuk tangki dalam rentang tekanan 15-200 Psig
2. Lebih ekonomis dan lebih mudah dibuat
3. Memiliki knuckle radius yang membantu mendistribusikan tegangan disekitar sambungan head dan bagian silinder

a. Menentukan icr dan rc

Dipilih nilai OD 192 in untuk menentukan nilai icr dan rc pada tabel 5.7 *Brownell & Young.*

- icr = 4,4147 in

- rc = 129,835 in

b. Tebal *head*

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

Keterangan:

th = tebal *head* (in)

w = faktor *intensifikasi stress*

f = *allowable stress* (18750 in)

E = efisiensi sambungan (80%)

C = *corrosion allowance* (0,125 in)

$$th = \frac{(0{,}885 \times 25{,}6936 \times 73{,}5789)}{(18.750 \times 0{,}80 - 0{,}1 \times 25{,}6936)} + 0{,}125$$

$$= 0{,}2365\ in$$

c. Tinggi *head*

th standar = 0,3125 (tabel 5.6 *Brownell & Young*)

Maka sf = 2 in

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + sf$$

(*Brownell & Young*)

OA = 14,6962 in

AB = 32,3747 in

BC = 69,1641 in

AC = 61,1192 in

Tinggi *head* = 14,6962 in

= 0,3732 m

14) Tinggi Reaktor

Tinggi reaktor = tinggi shell + 2.(tinggi reaktor)

= 4,0444 m

= 13,2689 ft

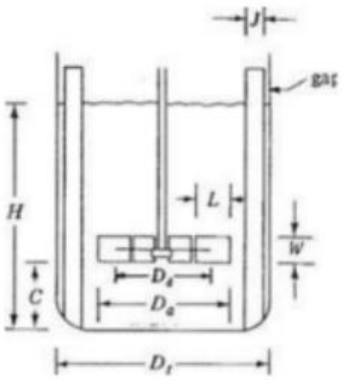
15) Spesifikasi Pengaduk

Volume cairan yang diaduk = 5,0571 m^3

Viskositas cairan yang diaduk = 130.210,4264 Cp

= 130,2104 Ns/m^2

Dilihat dari nilai viskositas cairan, maka pengaduk dapat dipilih jenis 6 *vertical blades flat turbine* dasar pemilihan untuk pengadukan digunakan viskositas tinggi sekitar 100.000 cP pada kapasitas pemompaan tinggi. (*Brownell & Young*)



Keterangan:

Di = Diameter pengaduk

Zi = Jarak pengaduk dari dasar tangki

W = Lebar *impeller*

J = Lebar *buffle*

L = Panjang *blade*

Dd = Diameter batang penyangga

Offset 1 = Jarak *baffle* dari dasar tangki

Offset 2 = Jarak *baffle* dari dasar tangki

a. Di = Dt/3

= 0,6229 m = 24,5263 in

b. Zi = Di/1

= 0,6229 m = 24,5263 in

c. W = Di x 0,2

= 0,1557 m = 6,1315 in

d. J = Di x 0,1

= 0,1868 m = 7,3578 in

e. L = Di x 0,25

= 0,1245 m = 4,9052 in

f. Dd = Di x 2/3

=0,4153 m = 16,3508 in

g. Offset 1 = Di x 1/2

= 0,3114 m = 12,2631 in

h. Offset 2 = Di x 1/6

= 0,1038 m = 4,0877 in

i. Panjang baffle = Hls – (offset 1 + offset 2)

= 3,94 – (0,3114 + 0,1038)

= 3,5246 m = 138,7669 in

j. Tinggi cairan = Di x 2,9

= 1,0851 m = 42,7171 in

k. *Specific Gravity* (sg)

$$sg = \frac{densitas\ cairan}{densitas\ air}$$

$$= \frac{1440{,}791}{1000}$$

$$= 1{,}4408\ kg/m^3$$

l. *Water Equivalent Liquid High* (WELH)

WELH = tinggi cairan x sg

= 1,8434 x 1,4408

= 2,6561 m

= 8,7139 ft

m. Jumlah pengaduk

$$jumlah\ pengaduk = \frac{WELH}{D}$$

$$= \frac{2{,}6561}{1{,}8689}$$

$$= 1{,}4211$$

Berdasarkan perhitungan, diambil jumlah pengaduk sebanyak 2 buah.

n. Putaran pengaduk

$$N = \frac{600}{3{,}14 \times Di} \times \sqrt{\frac{WELH}{2 \times Di}}$$

$$= \frac{600}{3{,}14 \times 3{,}1416} \times \sqrt{\frac{2{,}6561}{2 \times 2{,}0431}}$$

$$= 136{,}5148\ rpm$$

$$= 2{,}2752\ rps$$

Jenis motor: dipilIh tipe *fixed speed belt* (paling ekonomis, mudah dalam pemasangan dan perbaikan)

Kecepatan pengaduk standar = 155 rpm = 2,6 rps

o. Bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \times N \times Di^2}{\mu}$$

$$= \frac{1.440{,}7904 \times 2{,}2752 \times 0{,}6229^2}{130{,}2104}$$

$$= 9{,}7705$$

p. Power pengaduk

Pa = Np x ρ x N^3 x Di^5

= 10 x 1.440,7904 x $2,6^3$ x $0,6229^5$

= 23.306,41 W

= 31,2543 hp

= 23,3064 kW

Wfisiensi motor = 85%

Power standar = 40 hp

16) Jaket Pendingin

1. Kebutuhan Pendingin

Cp air pada 25˚C = 75,5639 kJ/kmol.K

Cp air pada 45˚C = 75,2132 kJ/kmol.K

Tin = 25˚C

= 298,15 K

Tout = 45˚C

= 318,15 K

Tabel 1.10 Neraca Panas

Qp	230.737,43	kJ/jam
	218.696,85	Btu/jam
ΔH	7.556,57	kJ/kg.K
m	153,3888	kg/jam
	338,1611	lb/jam

2. Menentukan Tinggi Cairan

Tinggi cairan = 123,8795 in

= 3,1464 m

= 10,3228 ft

3. Perancangan Pendingin

a. Menghitung *heat transfer area*

$$A = \frac{Q}{UD \times \Delta TLMTD}$$

$$= \frac{178.078,44}{75 \times 143,25}$$

$$= 16,5754\ ft^2$$

b. Menghitung luas selubung reaktor

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

D	1,8689	m
H	3,2978	m
Luas Selubung	20,2261	m^2
	66,3617	ft^2

Karena, Luas Selubung > A (Heat Transfer Area) = Menggunakan Pendingin *Jacket*

c. Menghitung diameter *jacket*

OD shell = 73,9551 in

ID jacket = 77,9551 in

d. Menghitung tebal *jacket*

P operasi	1	atm
	14,7	psi
P design	17,64	psi
Jari jari (ri)	38,9775	in
Efisiensi pengelasan (E)	0,85	
Tekanan maksimum (f)	12.650	psi
Faktor korosi (C)	0,125	in
Maka, ts	0,2353	in
Tebal Standar	0,25	in

OD jaket	38,33	in
OD jaket standar	138	in
ID jaket standar	78	in
	6	ft

e. Design *head jacket*

Menentukan icr dan rc

icr = 8,375 in

rc = 132 in

f. Tebal *head*

$$th\ min = \frac{P.r.c.W}{2\ .f.E - 0{,}2\ .P} + C$$

Keterangan:

th = tebal *head* (in)

w = faktor *intensifikasi stress*

f = *allowable stress* (18750 in)

E = efisiensi sambungan (85%)

C = *corrosion allowance* (0,125 in)

$$W = \frac{1}{4}\left(3 + \sqrt{rc/r}\right)$$

$$= \frac{1}{4}\left(3 + \sqrt{132/8{,}375}\right)$$

$$= 1{,}7425\ in$$

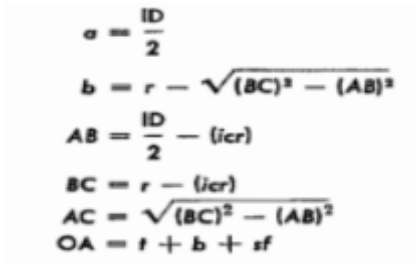
$$th = \frac{17{,}64 \times 132 \times 1{,}7451}{(2 \times 12.650 \times 0{,}85) - (0{,}2 \times 17{,}64)} + 0{,}125$$

$$= 0{,}1887\ in$$

g. Tinggi *head*

th standar = 0,375 in

Maka sf = 3 in



$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + sf$$

B = 12,2706 in

Tinggi *head* = 15,6456 in

= 0,3973 m

= 1,3037 ft

h. Menentukan tinggi total *jacket*

H total = H cairan + H h*ead*

= 139,5251 in

= 3,5439 m

= 11,6271 ft

2. Granulator

Spesifikasi Granulator	
Kode	G-02
Fungsi	Mereaksikan amonia (NH_3), asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4) dan ZA untuk menghasilkan MAP dan DAP
Jenis/Tipe	Rotary Drum Granulator
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga, Rp	5.000.550.933
Kondisi Operasi	
Suhu,˚C	80
Tekanan, atm	1
Sifat Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 type II Grade 316*
Diameter (ID) Shell, m	2,4384
Tebal Shell, in	0,2020
Panjang, m	4,2672
Spesifikasi Khusus	
Kecepatan Pengaduk, rpm	20 - 14
Power Pengaduk, hp	60
Ukuran Produk (mm)	0,5 - 20
Jenis Coolant	Air
Kebutuhan Coolant, kg/jam	315,3771
Luas Area Transfer Panas, m^2	6,9928
Ud ($W/m^2.K$)	340,6957
Tebal Jaket, m	0,1875

Di dalam granulator terjadi reaksi antara amonia, asam sulfat dan asam fosfat dan amonium sulfat (ZA) menjadi monoamonium fosfat (MAP) dan diamonium fosfat (DAP). Berikut adalah persamaan reaksinya:

$$\underset{\text{Amonia}}{2NH_3} + \underset{\text{Asam Sulfat}}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{\text{Amonium Sulfat}}{(NH_4)_2SO_4}$$

$$\underset{\text{Amonia}}{NH_3} + \underset{\text{Asam Fosfat}}{H_3PO_4} \rightarrow \underset{\text{Monoamonium Fosfat}}{NH_4H_2PO_4}$$

$$\underset{\text{Amonia}}{NH_3} + \underset{\text{Monoamonium Fosfat}}{NH_4H_2PO_4} \rightarrow \underset{\text{Diamonium Fosfat}}{(NH_4)_2HPO_4}$$

2.1 Neraca Massa

Tabel 2.1 Neraca Massa

Komponen	Input						Output	
	Arus 4		Arus 8		Arus 9		Arus 10	
	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam	kmol/jam	kg/jam
NH_3	-	-	-	-	37,90	644,34	-	-
H_2SO_4	2,92	285,73	-	-	-	-	-	-
H_3PO_4	2,92	285,73	-	-	-	-	-	-
$(NH_4)_2SO_4$	26,24	3.463,70	34,33	4.531,62	-	-	63,49	8.380,18
$NH_4H_2PO_4$	26,24	3.017,62	-	-	-	-	-	-
$(NH_4)_2HPO_4$	-	-	7,28	960,94	-	-	36,44	4.809,50
UREA	-	-	59,51	3.570,69	-	-	59,51	3.570,69
KCL	-	-	48,25	3.570,69	-	-	48,25	3.570,69
H_2O	55,91	1.006,45	6,20	111,65	0,37	6,69	62,49	1.124,79
Total	**114,23**	**8.059,22**	**155,58**	**12.745,58**	**38,27**	**651,03**	**270,17**	**21.455,83**
Total In-Out	**21.455,83**						**21.455,83**	

2.2 Menentukan Jenis Granulator

1. Menyatukan fasa cair reaktor dan fasa padat *pug mill* secara efisien dalam satu tahapan proses.
2. Menyediakan volume retensi untuk injeksi amonia guna mengonversi sisa asam menjadi garam amonium.
3. Menghasilkan produk dengan keseragaman dimensi yang tinggi serta meningkatkan resistensi mekanis granul.

2.3 Perancangan Granulator

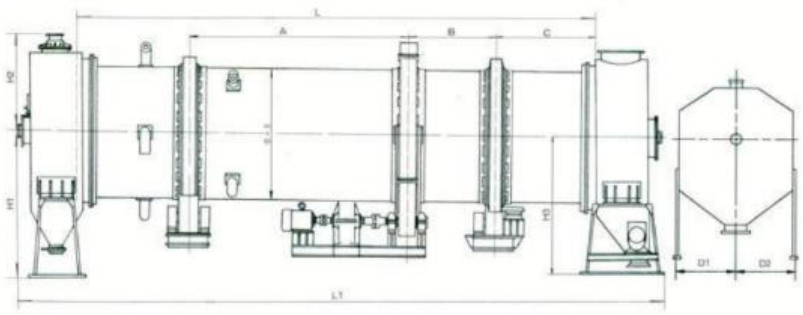
Waktu Tinggal : 5 menit

Konversi Reaksi 1 : 100%

Konversi Reaksi 2 : 100%

Konversi Reaksi 3 : 100%

2.4 Design Equation



1) Kinetika Reaksi

a. Reaksi 1 Pembentukan Amoniun Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$)

Reaksi orde 2

Reaksi *irreversible*

$$\boldsymbol{k = A\ x\ exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)}$$

Keterangan:

k = konstanta kecepatan reaksi

T = suhu reaksi (K)

Ea = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (1/s)

R = Konstanta Gas Ideal

Tabel 2.2 Kinetika Reaksi 1

Ea	56.890,168	J/mol
R	8,314	J/mol.K
T	353	K
A	$3{,}3641 \times 10^{7}$	L/mol.s
k	0,7374	L/mol.s

b. Reaksi 2 Pembentukan Monoamoniun Fosfat ($NH_4H_2PO_4$)

Reaksi orde 2

Reaksi *irreversible*

$$\boldsymbol{k = A\ x\ exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)}$$

Keterangan:

k = konstanta kecepatan reaksi

T = suhu reaksi (K)

Ea = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (1/s)

R = Konstanta Gas Ideal

Tabel 2.3 Kinetika Reaksi 2

Ea	76.384,168	J/mol
R	8,314	J/mol.K
T	353	K
A	$3{,}3641 \times 10^{7}$	L/mol.s
k	0,0014789	L/mol.s

c. Reaksi 3 Pembentukan Diamoniun Fosfat ($(NH_4)_2HPO_4$)

Reaksi orde 2

Reaksi *irreversible*

$$\boldsymbol{k = A\ x\ exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right)}$$

Keterangan:

k = konstanta kecepatan reaksi

T = suhu reaksi (K)

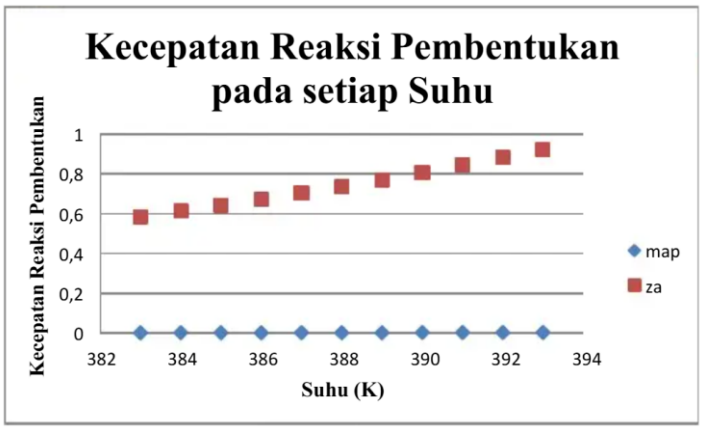
Ea = Energi aktivasi (J/mol)

A = Faktor frekuensi (1/s)

R = Konstanta Gas Ideal

Tabel 2.4 Kinetika Reaksi 3

Ea	0,7302	J/mol
R	0,00198	J/mol.K
T	353	K
A	0,3542	L/mol.s
k	$1{,}03432 \times 10^{-8}$	L/mol.s



Gambar 2.1 Grafik Kecepatan Reaksi Pembentukan pada Setiap Suhu

(Sumber: Manual Book Petrokimia, 2012)

Dilihat dari Gambar 2.1 Grafik Kecepatan Reaksi Pembentukan pada Setiap Suhu kecepatan pembentukan Amoniun Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$) dan Monoamonium Fosfat ($NH_4H_2PO_4$) dapat diasumsikan k yang dipakai adalah k pembentukan Monoamonium Fosfat ($NH_4H_2PO_4$) karena nilainya lebih kecil pada setiap rentang suhu.

2) Volume Granulator

$$V_{material} = \frac{m}{\rho_{bulk}} \times t$$

$$= \frac{21.455,83}{1,2} \times 0,0833$$

$$= 1,4899\ m^3$$

*Slurry mengisi 10%-20% dari penampang dalam (*Perry*: 20-75)

$$V_{drum} = \frac{V_{material}}{filling\ degree}$$

$$= \frac{1,4889}{20\%}$$

$= 7{,}4499\ m^3$

3) Dimensi Granulator

Berdasarkan Tabel 20-43 halaman 20-75 *Perry's* Edisi 7, 1978 untuk kapasitas sebesar 21.455,83 ton/jam

a. Diameter = 8 ft

= 2,4383 m

b. Panjang = 14 ft

= 4,2672 m

c. Power = 60 hp

d. Speed = 20 – 14 rpm

e. Ukuran produk = 0,5 – 20 mm

4) Tebal *Shell*

Dalam menghitung ketebalan dinding *shell* atau reaktor menggunakan persamaan 14.34, buku *Brownell & Young*, 1959:275:

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

Keterangan:

t_s = Tebal shell (in)

R = Jari-jari shell

f = Allowable stress

C = Corrosion allowance

P = Tekanan design

E = Efisiensi sambungan (80%)

Maka nilai tebal *shell* adalah:

$$ts = \frac{17{,}64 \times 47{,}99}{(13750 \times 0{,}80) - (0{,}6 \times 17{,}64)} + 0{,}125 = 0{,}2021\ in$$

Kemudian diambil t_s standar: ¼ = 0,25 in (*Brownell & Young*, 1959)

5) Jaket Pendingin

1. Kebutuhan Pendingin

Cp air pada 25˚C = 75,5639 kJ/kmol.K

Cp air pada 45˚C = 75,2132 kJ/kmol.K

Tin = 25˚C

= 298,15 K

Tout = 45˚C

= 318,15 K

Tabel 2.5 Neraca Panas

Qp	474.410,52	kJ/jam
	449.654,35	Btu/jam
ΔH	3.780,81	kJ/kg.K
m	315,3771	kg/jam
	695,2801	lb/jam

2. Menentukan Tinggi Cairan

Tinggi cairan = 98,0313 in

= 2.4898 m

= 8.1689 ft

3. Perancangan Pendingin

a. Menghitung *heat transfer area*

$$A = \frac{Q}{UD \times \Delta TLMTD}$$

$$= \frac{449.656{,}3526}{75 \times 79{,}65}$$

$$= 75{,}2729\ ft^2$$

b. Menghitung luas selubung reaktor

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

D	2,4384	m
H	42672	m
Luas Selubung	34,1586	m^2
	112,0743	ft^2

Karena, Luas Selubung > A (Heat Transfer Area) = Menggunakan Pendingin *Jacket*

c. Menghitung diameter *jacket*

OD shell = 96,4039 in

ID jacket = 100,4039 in

d. Menghitung tebal *jacket*

P operasi	1	atm
	14,7	psi
P design	17,64	psi
Jari jari (ri)	50,2019	in
Efisiensi pengelasan (E)	0,85	
Tekanan maksimum (f)	12.650	psi
Faktor korosi (C)	0,125	in
Maka, ts	0,2074	in
Tebal Standar	0,25	in

OD jaket	100,7789	in
OD jaket standar	102	in
ID jaket standar	100	in
	8	ft

e. Design *head jacket*

Menentukan icr dan rc

icr = 6,125 in

rc = 96 in

f. Tebal *head*

$$th\ min = \frac{P.r.c.W}{2\ .f.E - 0{,}2\ .P} + C$$

Keterangan:

th = tebal *head* (in)

w = faktor *intensifikasi stress*

f = *allowable stress* (18750 in)

E = efisiensi sambungan (85%)

C = *corrosion allowance* (0,125 in)

$$W = \frac{1}{4}\left(3 + \sqrt{rc/r}\right)$$

$$= \frac{1}{4}\left(3 + \sqrt{\frac{96}{6{,}125}}\right)$$

$$= 1{,}7397\ in$$

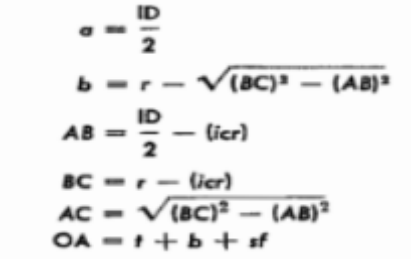
$$th = \frac{17{,}64 \times 96 \times 1{,}7397}{(2 \times 12.650 \times 0{,}85) - (0{,}2 \times 17{,}64)} + 0{,}125$$

$$= 0{,}2620\ in$$

g. Tinggi *head*

th standar = 0,375 in

Maka sf = 3 in



$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

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

$$OA = t + b + sf$$

B = 17,7812 in

Tinggi *head* = 21.1562 in

= 1,7629 m

= 0,5373 ft

h. Menentukan tinggi total *jacket*

H total = H cairan + H h*ead*

= 119.1875 in

= 3,0274 m

= 9,9323 ft

i. Isolator granulator

Dalam sistem reaktor, penggunaan isolasi memiliki peran penting untuk menjaga kestabilan termal reaktor, mengurangi perpindahan panas ke lingkungan sekitar, serta memastikan reaksi berlangsung pada kondisi temperatur yang diinginkan. Isolasi yang baik mampu menekan kehilangan energi secara signifikan, sehingga efisiensi termal sistem dapat ditingkatkan. Selain itu, isolasi juga berkontribusi dalam menjaga keselamatan operasional dengan melindungi operator dari permukaan reaktor yang bersuhu tinggi dan mencegah fluktuasi suhu yang dapat

mengganggu jalannya reaksi kimia, maka persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = \frac{2\pi L(T_3 - Tu)}{\frac{ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k1} + \frac{ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k2} + \frac{1}{(hc - hr)r_3}}$$

Keterangan:

x_3 : Tebal isolasi (m)

r_1 : Jari-jari dalam tangki

r_2 : Jari-jari luar reaktor (m)

r_3 : Jari-jari luar isolasi (m)

T_1 : Temperatur permukaan plat tangki bagian dalam (°C)

T_2 : Temperatur permukaan plat tangki bagian luar (°C)

T_3 : Temperatur luar isolasi (°C)

Tu : Temperatur udara (°C)

Perpindahan panas dari reaktor ke sekeliling melalui dinding reaktor dan isolator terjadi melalui beberapa langkah, yaitu:

1. Perpindahan konveksi dari cairan pendingin dalam shell ke dinding shell dalam (Q1).
2. Perpindahan konduksi dari dinding shell dalam ke dinding shell luar (Q1).
3. Perpindahan konduksi dari dinding shell luar ke permukaan luar isolator (Q2).
4. Perpindahan konveksi dan radiasi dari permukaan luar isolator ke udara bebas (Q3).

- Menghitung Suhu Dinding Luar Isolator

$$\left(\frac{Q}{A}\right) . \alpha_{sun} = \alpha_{low\ temp} . \sigma . (T_3^4 - T_u^4)$$

Dimana:

Q/A : Fluks radiasi matahari (500W/m2)

α *sun* : Radiasi matahari (0,18)

α *low temp* : Radiasi pada *low temperature* (0,8)

σ : Konstanta boltzman, $5{,}676 \times 10^{-8}$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan suhu rata-rata udara di gresik adalah 27°C didapatkan suhu luar dinding reaktor sebesar 44°C.

- Sifat Fisis Dinding Reaktor

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Konduktivitas Termal : 25 Btu/jam.ft2.°F/ft

Emisivitas (ε) : 0,54

- Spesifikasi Isolator

Bahan : Asbestos

Konduktivitas Termal : 0,1234 Btu/jam.ft2.°F/ft

Emisivitas (ε) : 0,945

Alasan pemilihan bahan asbestos dikarenakan memiliki nilai konduktivitas yang rendah dan memiliki nilai emisivitas yang tinggi sehingga membantu dalam meminimalkan perpindahan pana melalui radiasi.

- Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Konveksi

$hc = 1{,}24(\Delta T)^{1/3}$

hc = 1.7811 W/m^2.K

= 0.3137 Btu/jam.ft^2.°F

- Menghitung Panas Hilang Setelah Isolasi

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

Dengan A = 34,1586 m^2, maka

Qloss = 123,7676 W

= 422,3128 Btu/jam

- Menghitung Tebal Isolator

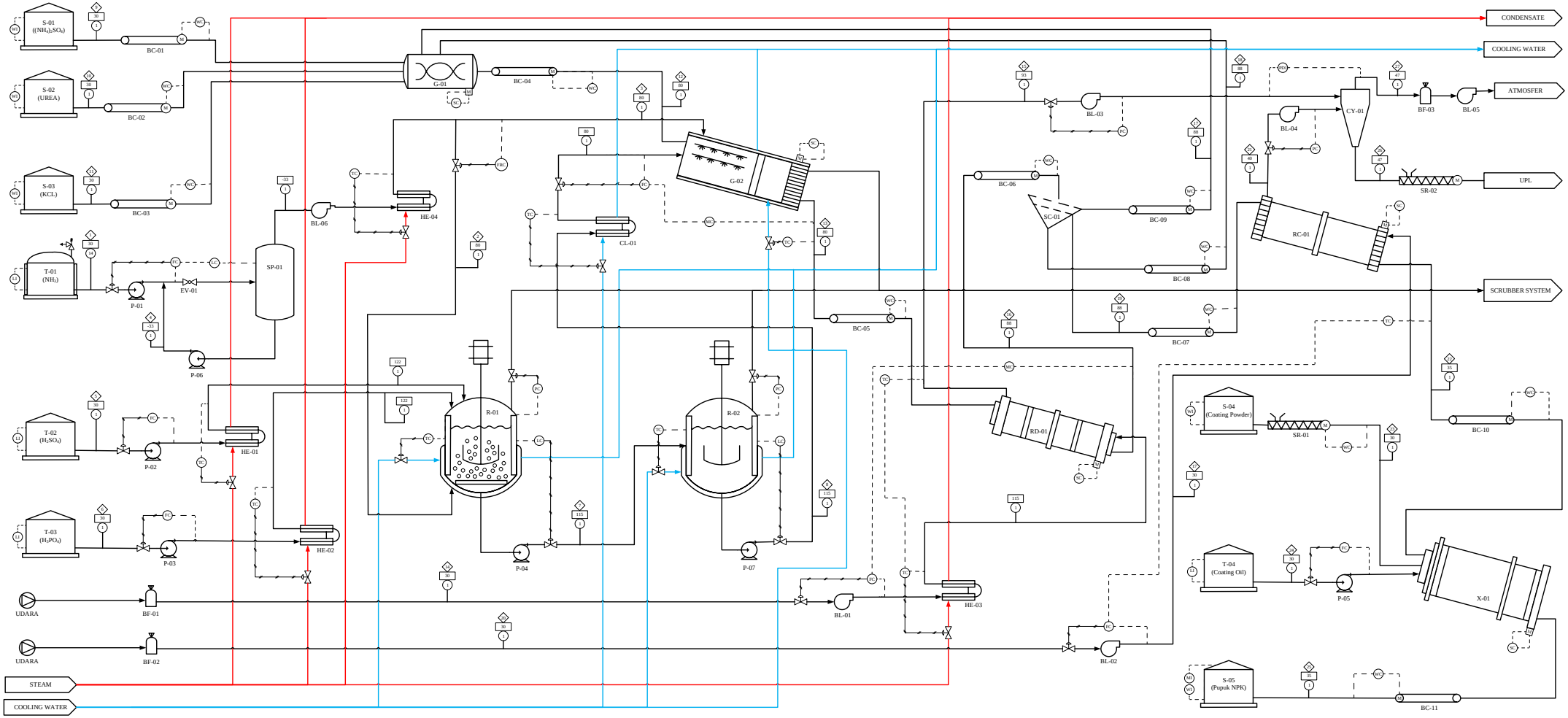
Dengan menganggap Q = Qloss dihitung tebal isolator dengan menggunakan metode *goal seek* didapatkan tebal isolator yaitu 0,1946 cm

LAMPIRAN BPROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PRARANCANGAN PABRIK PUPUK NPK DARI *GREEN AMMONIA*

KAPASITAS : 130.000 TON/TAHUN



Komponen	No Arus (kg/jam)																									
	<1>	<2>	<3>	<4>	<5>	<6>	<7>	<8>	<9>	<10>	<11>	<12>	<13>	<14>	<15>	<16>	<17>	<18>	<19>	<20>	<21>	<22>	<23>	<24>	<25>	<26>	<27>
NH_3	1.982,59	1.338,25	644,34	495,65	-	-	208.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H_2SO_4	-	-	-	-	2.857,26	-	685.84	285,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H_3PO_4	-	-	-	-	-	2.857,26	685.84	285,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$(NH_4)_2SO_4$	-	-	-	-	-	-	2925.33	3.463,70	2.857,26	-	-	4.531,62	8.380,18	-	8,38	8.371,80	12.55,77	418,59	6.697,44	-	6,70	6.690,74	-	-	6.690,74	12,82	2,26
$NH_4H_2PO_4$	-	-	-	-	-	-	2547.75	3.017,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$(NH_4)_2HPO_4$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	960,94	4.809,50	-	4,81	4.804,69	720,70	240,23	3.843,75	-	3,84	3.839,91	-	-	3.839,91	7,36	1,30
CH_4N_2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.857,26	-	3.570,69	3.570,69	-	3,57	3.567,12	535,07	178,36	2.853,69	-	2,85	2.850,84	-	-	2.850,84	5,46	0,96
KCL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.857,26	3.570,69	3.570,69	-	3,57	3.567,12	535,07	178,36	2.853,69	-	2,85	2.850,84	-	-	2.850,84	5,46	0,96
H_2O	13,38	6,69	3,22	3,35	57,15	942,61	1006.45	1.006,45	28,57	14,29	28,57	111,65	1.124,79	115,35	1.079,06	201,08	30,16	10,05	160,86	2.457,01	2.458,01	160,70	-	-	160,70	-	3.537,07
Udara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.710,33	5.710,33	-	-	-	-	121.675,51	121.675,51	-	-	-	-	-	127.385,85
Coating Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,10	10,10	-	-
Coating Powder	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,02	-	11,02	-	-
Total	**1.995,97**	**1.344,94**	**647,56**	**498,99**	**2.914,41**	**3.799,87**	**8059.22**	**8.059,22**	**2.885,84**	**2.871,55**	**2.885,84**	**12.745,58**	**21.455,83**	**5.865,68**	**6.809,72**	**20.511,79**	**3.076,77**	**1.025,59**	**16.409,44**	**124.149,77**	**124.149,77**	**16.393,03**	**11,02**	**10,10**	**16.414,14**	**31,09**	**130.928,41**

Keterangan Alat		Keterangan Simbol		Keterangan Instrumen	
R	Reaktor		Nomor Arus	LI	*Level Indicator*
G-01	*Pugmill*		Suhu, °C	WI	*Weight Indicator*
G-02	Granulator		Tekanan, atm	MI	*Moisture Indicator*
RD	*Rotary Dryer*		*Control Valve*	LC	*Level Control*
SC	*Screener*		*Expansion Valve*	TC	*Temperature Control*
RC	*Rotary Cooler*		*Pressure Relief Valve*	PC	*Pressure Control*
X	*Coating Drum*		Arus Sinyal *Pneumatic*	FC	*Flow Control*
CY	*Cyclone*		Arus Sinyal *Listrik*	MC	*Moisture Control*
CL	*Cooler*		Arus Proses	PDI	*Pressure Differential Indicator*
HE	*Heater*		Arus *Stream*	WC	*Weight Control*
P	Pompa		Arus *Cooling Water*	SC	*Speed Control*
BL	*Belt Conveyor*			M	*Motor*
SR	*Screw Conveyor*			FRC	*Flow Ratio Control*
T	Tangki				
S	Silo				
BF	*Bag Filter*				
SP	Separator				
EV	*Expansion Valve*				

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PABRIK PUPUK NPK DARI *GREEN AMMONIA* DENGAN KAPASITAS 130.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh:

Putri Jeni Asih (22521089)

Desy Noviyanti (22521094)

Dosen Pembimbing:

Dr. Ariany Zulkania, S. T., M. Eng.

LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU KONSULTAS BIMBINGAN

Nama Mahasiswa : Putri Jeni Asih

NIM : 22521089

Nama Mahasiswa : Desy Noviyanti

NIM : 22521094

Semester/Tahun Akademik : 8/2025-2026

Nama Dosen Pembimbing : Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng.

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	3/10/2025	Diskusi awal penentuan kapasitas dan pemilihan proses	
2	9/10/2025	Fiksasi penentuan kapasitas berdasarkan kebutuhan pasar dan ketersediaan bahan baku	
3	18/10/2025	Konsultasi tinjauan kinetika dan tinjauan termodinamika	
4	25/10/2025	Konsultasi tinjauan kinetika dan tinjauan termodinamika	
5	7/11/2025	Penentuan spesifikasi bahan baku dan produk berdasarkan standar pasar	
6	21/11/2025	Konsultasi penyusunan diagram alir kualitatif proses produksi	
7	4/12/2025	Konsultasi neraca massa pada setiap unit operasi	
8	11/12/2025	Konsultasi neraca massa pada reaktor dan granulator	
9	19/12/2025	Konsultasi neraca massa pada rotary dryer dan cyclone	

10	8/1/2026	Konsultasi perancangan dan desain mekanis reaktor	
11	30/1/2026	Konsultasi perancangan dan desain mekanis reaktor dan granulator	
12	6/2/2026	Konsultasi perancangan dan desain mekanis reaktor dan alat pemisah	
13	20/2/2026	Konsultasi perancangan dan desain alat pemisah	
14	27/2/2026	Perancangan tangki dan spesifikasi kondisi operasi penyimpanan bahan baku serta produk	
15	13/3/2026	Konsultasi perancangan alat transportasi bahan	
16	3/4/2026	Perancangan alat penukar panas, pemilihan jenis steam dan neraca panas disetiap alat	
17	17/4/2026	Konsultasi lokasi pabrik dan pertimbangan strategis terkait akses bahan baku, konsumen, pelabuhan, air, dan sumber daya manusia	
18	23/4/2026	Konsultasi perancangan layout alat proses, layout pabrik dan PEFD	
19	30/4/2026	Perancangan unit utilitas dan kebutuhan listrik	
20	8/5/2026	Konsultasi layout pabrik dan PEFD	
21	22/5/2026	Konsultasi evaluasi ekonomi pabrik dan PEFD	