

PRARANCANGAN PABRIK FENOL DENGAN PROSES RASCHIG KAPASITAS 7.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

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



Oleh:

Istiqomah

20521192

Naura Maysahaq

20521207

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

2024

LEMBAR PENYATAAN KEASLIAN

PRA RANCANGAN PABRIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Istiqomah

Nama : Naura Mayshaq

NIM : 20521192

NIM : 20521207

Yogyakarta, 02 Juli 2024

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

Td. Tangan

Istiqomah

Td. Tangan

Naura Mayshaq

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI PROSES
RASCHIG DENGAN KAPASITAS
7.000 TON/ TAHUN**



Nama : Istiqomah
Nim : 20521192

Nama : Naura Mayshaq
Nim : 20521207

Yogyakarta, 02 Juli 2024

Pembimbing,

(Ifa Puspari, S.T., M.Eng, Ph.D.)

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

PRANRANCANGAN PABRIK FENOL DARI PROSES RACHIG DENGAN
KAPASITAS 7.000 TON/TAHUN

Oleh :

Nama : Istiqomah
NIM : 20521192

Nama : Naura Maysahaq
NIM : 20521207

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia dari Program Studi Teknik Kimia di
Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 05 Agustus 2024

Tim Penguji

Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D

 8/8 '24

Anggota 1

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

 8/8/24

Anggota 2

Venalitya Alethea Sari Augustia, S.T.,
M.Eng

 8/8/24

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia – Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia





(Shoiech Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik dengan judul **“PRA RANCANGAN PABRIK FENOL DENGAN PROSES RASCHIG”** tepat pada waktunya.

Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik ini disusun sebagai penerapan dari ilmu Teknik Kimia yang telah didapat selama kuliah, serta merupakan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini kami menyadari bahwa selama penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini mendapatkan bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kami ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rizki dan karunia-Nya, sehingga kami dapat melaksanakan penelitian dan dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan sebaik-baiknya.
2. Orang tua dan keluarga yang tanpa mengenal lelah selalu mendukung, memberikan doa, semangat, dan motivasi selama mengenyam Pendidikan di S1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia serta ibu Ifa Puspasari S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang

telah memberikan bimbingan dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

4. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa.
5. Seluruh civitas akademik di lingkungan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
6. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu dalam membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa di dalam penyusunan laporan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan untuk memperbaiki penyusunan dimasa yang akan datang. Akhir kata, kami berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr., Wb.

Yogyakarta, Juli 2024

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, ya Hayyu-Qayyum yang senantiasa menolong dan memberikan solusi terbaik selama perjalanan kehidupan saya, sehingga saya bisa sampai dititik sekarang. Atas karunia-Nya saya bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini tepat waktu. Sholawat serta salam senantiasa kita panjatkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Segala perjuangan dan pencapaian yang saya capai sampai dititik ini saya persembahkan kepada orang-orang terhebat di hidup saya yaitu:

1. Ibu Sariyanti, ibu saya tercinta. Terimakasih atas segala jerih payah yang telah dilakukan, bekerja pagi, siang, malam tanpa lelah dan doa yang terus menerus diberikan sehingga saya senantiasa dimudahkan dalam segala kesulitan yang ada. Gelar ini saya persembahkan untuk ibu saya, karena saya adalah anak yang pertama bisa mengenyam pendidikan sarjana di keluarga kami berkat kerja keras beliau. Semoga gelar ini, bisa menjadi langkah awal saya untuk menaikkan derajat keluarga dan bisa mengubah segala bentuk kesedihan dan air mata ibu saya menjadi kebahagiaan, aamiin.
2. Bapak Nuryanto, Heri Sungkowo, Siti Wulandari, Faizal Abdul Rohim, Ranika Setyawati, dan Nadia Lestari. Bapak, kakak, dan adik saya yang senantiasa memberikan dukungan dan doa agar saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

3. Rahma, Kenzie, Gavino, dan Gevano. Keponakan saya, yang bisa membuat saya merasa terhibur dan bahagia di tengah hiruk pikuk kesulitan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini
4. Seluruh keluarga besar, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang tentunya selalu memberikan saya dukungan dan doa agar saya bisa mendapatkan gelar ini.
5. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya, terimakasih banyak atas dukungan dan motivasi dari ibu. Terimakasih atas segala kemudahan, dan bimbingannya selama penyusunan Tugas Akhir ini. Doa baik selalu saya ucapkan kepada Ibu dan sekeluarga
6. Naura Mayshaq, partner seperjuangan saya dari kuliah daring, kuliah luring, Kerja Praktik, Penelitian, dan Tugas Akhir sekaligus sahabat tercinta saya. Terimakasih banyak atas segala bentuk perjuangan dan kebaikan yang telah diberikan. Semoga kita bisa menjalin persahabatan ini sampai Jannah, semoga juga kita bisa bertemu dengan versi terbaik dari diri kita masing-masing.
7. Anisah Sulistiyawati, Qonitha Arifa, Tarisa Restu Sarasa, Amalia Febriyanti, Iman Alfian, dan M Fikri Solikhin. Anak Ambis Kimeng (AKC), sahabat-sahabat saya dari kuliah luring hingga saat ini saya bisa menyelesaikan perkuliahan. Terimakasih atas bentuk cinta dan kasih kalian yang sangat tulus, terimakasih selalu ada dan mau berjuang hingga saat ini. Doa senantiasa saya curahkan agar kalian sehat dan sukses dimanapun berada.

8. Rahmatika Isnaini, ST., dan Nur Farida Zulfalaila, ST., Kakak saya selama perkuliahan ini. Terimakasih atas segala bentuk dukungan, kasih sayang, dan arahan selama berkuliah di Teknik Kimia ini. Selalu mengarahkan, dan memberikan solusi ketika saya sedang kesulitan dan selalu menjadi garda terdepan ketika saya bermasalah. Sehat selalu, dan sukses untuk kalian, gelar ini saya persembahkan untuk kalian.
9. Ani Chalwa Isnani, sahabat JAMTEK saya hingga saat ini, yang telah memberikan semangat dan motivasi sehingga saya bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
10. Lanang Wiji Pinilih dan M Nasrul Agung, sahabat saya di Tim Sembilan. Yang senantiasa menemani proses pengerjaan Tugas Akhir saya, menjadi wadah tempat berkeluh kesah saya, dan selalu memberikan motivasi dan dukungan bahwa saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman MarComm, Direktorat Pemasaran, Tim Sembilan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terimakasih sudah menemani proses perkuliahan saya.
12. Teman-teman Teknik Kimia 2020 yang juga tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala kenangan dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Semoga kita semua bisa menjadi orang sukses dan mencapai apa yang kita impikan.
13. Dan yang terakhir, adalah untuk diri saya sendiri. Terimakasih sudah berjuang sekuat tenaga, sudah memberikan usaha terbaiknya. Kamu hebat dan kuat, sudah menanggung segalanya sendirian. Pertahanan terbaik dalam kondisi

terberat adalah dengan mengingat bahwa Allah senantiasa menolong. “Tidak akan ada yang bisa menandingimu, jika Allah yang langsung Menolongmu”. Senantiasa terapkan prinsip “Ikhlas, Senyap, dan Tuntas”. Selamat melanjutkan perjuanganmu, taklukan hal-hal baru yang akan datang kepadamu!!

Istiqomah,
Teknik Kimia 2020

Puji Syukur saya ucapkan kepada Allah SWT. Terimakasih atas ridho-mu yang telah engkau berikan berupa nikmat dalam berproses meraih ilmu, kesehatan, serta karunia dan kemudahan agar dapat menyusun tugas akhir yang sederhana namun bermakna ini. Shalawat serta salam selalu terlimpahkan pada Nabi Muhammad SAW. Tiada lembar tugas akhir ini yang sangat indah kecuali lembar persembahan. Bismillahirohmanirohim saya persembahkan tugas akhir ini sebagai bukti semangat usaha serta cinta kasih sayang kepada orang-orang yang sangat berharga dalam hidup saya:

1. Ibu dan Ayah tercinta, sebagai tanda hormat dan rasa sayang Ayuk tanpa mengurangi rasa hormat kepada kalian Ayuk persembahkan laporan tugas akhir ini kepada Ibu dan Ayah tercinta. Tak terasa anak sulungmu yang dulu masih engkau tatih dan sapih kini telah menyelesaikan *study* S1. Terima kasih atas semua pengorbanan dan kasih sayang yang telah kalian berikan sehingga Ayuk bisa mendapatkan gelar S.T. Pagi menjadi malam dan malam menjadi pagi telah kalian jalani hanya untuk berusaha yang terbaik dan mendoakan anakmu agar menjadi orang yang berguna sukses dunia akhirat. Tak terasa rambut hitam mu sudah berubah perlahan menjadi putih, kulit kencang mu perlahan menjadi kendur, maafkan Ayuk hanya bisa memberi gelar ini dengan hasil yang belum terlalu memuaskan. Ayuk berharap Ibu dan Ayah sehat selalu dan panjang umur agar bisa tetap mendampingi, mendoakan, membimbing, dan meridhoi setiap langkah Ayuk selanjutnya aamiin ya Rabb. Terima kasih Ibu dan Ayah...

2. Adik-adik yang Ayuk sayang, sebagai tanda terimakasih Ayuk persembahkan laporan tugas akhir ini untuk kalian. Terima kasih kalian sudah menjadi penyemangat Ayuk untuk menyelesaikan *study* ini. Sebagai kaka, Ayuk paham betul mana yang baik untuk dijadikan panutan kalian, tpi satu pesan Ayuk untuk kalian “Kalau bisa lebih kenapa tidak”. Untuk Nabila Evqi Putri semangat terus dalam menyelesaikan *studynya* untuk mendapat gelar, bismillah bisa yuu tahun depan S.T juga. Untuk Najla Dzakia Haqi Adik Ayuk yang dulu mungil sekarang sudah remaja, jangan malas untuk bangkit terus, fokus sekolahnya kan mau jadi dokter pertama di keluarga, bismillah semoga terwujud ya dik Aamiin Ya Rabb.
3. Muhammad Ali Akbar Makkituju yang telah sabar mendengar keluh kesah, tangis, dan amarah. Terima kasih telah menjadi penyemangat dalam dunia perkuliahan yang kelabu dan berubah menjadi pelangi, sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga kita selalu dalam perlindungan Allah SWT, dan semoga apa yang kita cita-citakan dapat tercapai dan dimudahkan dalam ridho-nya. Aamiin aamiin ya rabbal aalamin.
4. Istiqomah sebagai partner yang saya sayangi yang telah membersamai banyak hal mulai dari kuliah online, kerja praktik, penelitian, dan tugas akhir. Saya ucapkan terima kasih banyak atas semangat, dukungan, dan pengertiannya selama ini. Semoga apa yang telah kita lalui berbuah manis dikemudian hari.
5. Teman-teman AKC Tarisa Restu Sarasa, Anisah Sulistiyawati, Qonitha Arifa, Amalia Febriyanti, Iman Alfian, dan Fikri Solihin, tanpa kalian dunia perkuliahan ini hampa. Terima kasih atas semua memori yang pernah terukir

dan senantiasa ada sebagai pelipur kejenuhan dan kelaparan. Terima kasih atas kehadiran, canda, dan tawanya, kalian merupakan keluarga di tanah rantau ini. Semoga kedepannya kita masih menjalin silaturahmi. *See you on top guys!*

Naura Mayshaq,
Teknik Kimia 2020

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xviii |
| DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN..... | xix |
| ABSTRAK..... | xxii |
| BAB I..... | 1 |
| PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Penentuan Kapasitas Pabrik..... | 2 |
| 1.3. Tinjauan Pustaka..... | 8 |
| 1.3.1 Pembentukan Fenol dari Toluene-Asam Benzoat..... | 9 |
| 1.3.2 Pembuatan Fenol dengan Proses Sulfonasi Benzena..... | 10 |
| 1.3.3 Pembuatan Fenol dari Klorobenzene dan Natrium Hidroksida | 11 |
| 1.3.4 Pembuatan Fenol dari Oksiklorinasi Benzene (Proses Raschig) .. | 12 |
| 1.4. Pemilihan Proses Produksi..... | 13 |
| 1.5. Tinjauan Kinetika dan Termodinamika..... | 14 |
| 1.5.1 Tinjauan Kinetika..... | 14 |
| 1.5.2 Tinjauan Termodinamika..... | 15 |
| BAB II..... | 20 |
| PERANCANGAN PRODUK..... | 20 |
| 2.1. Spesifikasi Bahan..... | 20 |
| 2.1.1 Bahan Baku..... | 20 |
| 2.1.2 Bahan Pendukung..... | 21 |
| 2.1.3 Produk..... | 22 |
| 2.2. Pengendalian Kualitas..... | 23 |
| 2.2.1. Pengendalian kualitas bahan baku dan produk..... | 23 |
| 2.2.2. Pengendalian Proses Produksi..... | 23 |
| 2.3. Alat system Kontrol..... | 25 |
| 2.4. Pengendalian Kuantitas..... | 26 |
| BAB III PERANCANGAN PROSES..... | 27 |
| 3.1. Diagram Alir Proses dan Material..... | 27 |
| 3.2. Uraian Proses..... | 29 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| 3.2.1. | Tahap Preparasi Bahan Baku | 29 |
| 3.2.2. | Tahap Reaksi | 29 |
| 3.2.3. | Tahap Pemurnian Produk | 30 |
| 3.3. | Spesifikasi Alat | 31 |
| 3.3.1. | Spesifikasi Reaktor | 31 |
| 3.3.2. | Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung | 33 |
| 3.3.3. | Spesifikasi Alat Penyimpan Bahan | 37 |
| 3.3.4. | Spesifikasi Alat Penukar Panas | 50 |
| 3.4. | Neraca Massa | 67 |
| 3.4.1. | Fix Bed Reaktor (R-01) | 67 |
| 3.4.2. | Fix Bed Reaktor (R-02) | 68 |
| 3.4.3. | Flash Drum (FD-01) | 69 |
| 3.4.4. | Absorber (ABS-01) | 70 |
| 3.4.5. | Menara Distilasi Benzene (MD-01) | 71 |
| 3.4.6. | Menara Distilasi Klorobenzene (MD-02) | 72 |
| 3.5. | Neraca Panas | 73 |
| 3.5.1. | Fixed Bed Reaktor (R-01) | 73 |
| BAB IV | | 79 |
| PERANCANGAN PABRIK | | 79 |
| 4.1. | Lokasi Pabrik | 79 |
| 4.2. | Tata Letak Pabrik | 82 |
| 4.3. | Tata Letak Mesin/Alat Proses | 85 |
| 4.4. | Organisasi Perusahaan | 87 |
| 4.4.1 | Bentuk Perusahaan | 87 |
| 4.4.2 | Struktur organisasi | 89 |
| 4.4.3 | Tugas dan Wewenang | 91 |
| 4.4.4 | Status Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan | 93 |
| 4.4.5 | Pembagian Jam Kerja dan Sistem Gaji Karyawan | 96 |
| 4.4.6 | Ketenagakerjaan | 99 |
| BAB V | | 102 |
| UTILITAS | | 102 |
| 5.1. | Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (<i>Water Treatment System</i>) | 104 |
| 5.1.1 | Unit Penyedia Air | 104 |
| 5.2. | Unit Pembangkit Steam (<i>Steam Generation System</i>) | 114 |

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| 5.3. | Unit Pembangkit Listrik (<i>Power Plant System</i>) | 115 |
| 5.4. | Unit Penyediaan Udara Tekan (Instrument Air System) | 119 |
| 5.5. | Unit Pengolahan Limbah..... | 119 |
| BAB VI | | 133 |
| EVALUASI EKONOMI..... | | 133 |
| 6.1. | Penaksiran Harga Alat..... | 134 |
| 6.2. | Dasar Perhitungan | 140 |
| 6.3. | Perhitungan Biaya | 140 |
| 6.4. | Hasil Perhitungan | 145 |
| 6.5. | Hasil Analisis Keuntungan..... | 155 |
| 6.6. | Hasil Kelayakan Ekonomi..... | 155 |
| BAB VII..... | | 159 |
| PENUTUP | | 159 |
| 7.1 | Kesimpulan | 159 |
| 7.2 | Saran..... | 161 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 162 |
| LAMPIRAN..... | | 165 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. 1 Data Impor Fenol pada Tahun 2016 s.d. 2022 | 3 |
| Tabel 1. 2 Daftar Nama Perusahaan Fenol di Indonesia | 4 |
| Tabel 1. 3 Data Konsumsi Fenol di Indonesia | 5 |
| Tabel 1. 4 Perbandingan jenis proses pembuatan fenol | 13 |
| Tabel 1. 5 Nilai ΔH°_f masing-masing komponen | 16 |
| Tabel 1. 6 Nilai ΔG°_f masing-masing komponen | 18 |
| Tabel 2. 1 Spesifikasi Bahan Baku | 20 |
| Tabel 2. 2 Spesifikasi Bahan Pendukung | 21 |
| Tabel 2. 3 Spesifikasi Hasil Produk | 22 |
| Tabel 3. 1 Spesifikasi Pompa (P-01) | 40 |
| Tabel 3. 2 Spesifikasi Pompa (P-03) | 41 |
| Tabel 3. 3 Spesifikasi Pompa (P-03) | 42 |
| Tabel 3. 4 Spesifikasi Pompa (P-04) | 43 |
| Tabel 3. 5 Spesifikasi Pompa (P-05) | 44 |
| Tabel 3. 6 Spesifikasi Pompa (P-06) | 44 |
| Tabel 3. 7 Spesifikasi Pompa (P-07) | 46 |
| Tabel 3. 8 Spesifikasi Pompa (P-08) | 46 |
| Tabel 3. 9 Spesifikasi Pompa (P-09) | 47 |
| Tabel 3. 10 Spesifikasi Pompa (P-10) | 48 |
| Tabel 3. 11 Spesifikasi Pompa (P-11) | 49 |
| Tabel 3. 12 Spesifikasi Pompa (P-12) | 50 |
| Tabel 3. 13 Spesifikasi Vaporizer (V-01) | 50 |

| | |
|--|----|
| Tabel 3. 14 Spesifikasi Vaporizer (V-02) | 51 |
| Tabel 3. 15 Spesifikasi Separator (SP-01) | 52 |
| Tabel 3. 16 Spesifikasi Separator (sp-02) | 53 |
| Tabel 3. 17 Spesifikasi Heater (HE-01) | 53 |
| Tabel 3. 18 Spesifikasi Heater (HE-02) | 54 |
| Tabel 3. 19 Spesifikasi Heater (HE-03) | 55 |
| Tabel 3. 20 Spesifikasi Heater (HE-04) | 56 |
| Tabel 3. 21 Spesifikasi Heater (HE-05) | 57 |
| Tabel 3. 22 Spesifikasi Condensor Parsial (CDP-01) | 58 |
| Tabel 3. 23 Spesifikasi Condensor (CD-01) | 59 |
| Tabel 3. 24 Spesifikasi Condensor (CD-02) | 59 |
| Tabel 3. 25 Spesifikasi Accumulator (AC-01)..... | 61 |
| Tabel 3. 26 Spesifikasi Accumulator (AC-02)..... | 61 |
| Tabel 3. 27 Spesifikasi Cooler (CL-01) | 62 |
| Tabel 3. 28 Spesifikasi Cooler (CL-02) | 63 |
| Tabel 3. 29 Spesifikasi Cooler (CL-03) | 64 |
| Tabel 3. 30 Spesifikasi Reboiler (RB-01) | 65 |
| Tabel 3. 31 Spesifikasi Reboiler (RB-02) | 66 |
| Tabel 3. 32 Neraca Massa Reaktor (R-01) | 67 |
| Tabel 3. 33 Neraca Massa Reaktor (R-01) | 68 |
| Tabel 3. 34 Neraca Massa Separator (FD-01)..... | 69 |
| Tabel 3. 35 Neraca Massa Absorber (ABS-01) | 70 |
| Tabel 3. 36 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01) | 71 |

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 37 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-02)..... | 72 |
| Tabel 3. 38 Neraca Panas Reaktor (R-01)..... | 73 |
| Tabel 3. 39 Neraca Panas Reaktor (R-02)..... | 73 |
| Tabel 3. 40 Neraca Panas Separator (SP-01) | 74 |
| Tabel 3. 41 Neraca Panas Absorber (ABS-01) | 74 |
| Tabel 3. 42 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)..... | 74 |
| Tabel 3. 43 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-02)..... | 75 |
| Tabel 3. 44 Neraca Panas <i>Condensor Parsial</i> (CDP-01)..... | 75 |
| Tabel 3. 45 Neraca Panas <i>Condensor</i> (CD-01)..... | 75 |
| Tabel 3. 46 Neraca Panas <i>Condensor</i> (CD-02)..... | 75 |
| Tabel 3. 47 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-01)..... | 76 |
| Tabel 3. 48 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-02)..... | 76 |
| Tabel 3. 49 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-03)..... | 76 |
| Tabel 3. 50 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-04)..... | 76 |
| Tabel 3. 51 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> (HE-05)..... | 77 |
| Tabel 3. 52 Neraca Vaporizer (V-01) | 77 |
| Tabel 3. 53 Neraca Panas Vaporizer (V-02) | 77 |
| Tabel 3. 54 Neraca Panas <i>Reboiler</i> (RB-01)..... | 77 |
| Tabel 3. 55 Neraca Panas <i>Vaporizer</i> (RB-02)..... | 78 |
| Tabel 3. 56 Neraca Panas <i>Cooler</i> (CL-01)..... | 78 |
| Tabel 3. 57 Neraca Panas <i>Cooler</i> (CL-02)..... | 78 |
| Tabel 3. 58 Neraca Panas <i>Cooler</i> (CL-02)..... | 78 |
| Tabel 4. 1 Perincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik | 84 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4. 2 Daftar Jabatan Perusahaan | 94 |
| Tabel 4. 3 Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan..... | 98 |
| Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin..... | 107 |
| Tabel 5. 2 Kebutuhan Steam | 108 |
| Tabel 5. 3 Total kebutuhan listrik alat proses | 115 |
| Tabel 5. 4 Total kebutuhan listrik utilitas | 116 |
| Tabel 5. 5 Total Kebutuhan Listrik Pabrik..... | 118 |
| Tabel 5. 6 Spesifikasi Pompa Utilitas | 122 |
| Tabel 5. 7 Spesifikasi Bak Pengendap Awal | 124 |
| Tabel 5. 8 Spesifikasi Bak Campur..... | 124 |
| Tabel 5. 9 Spesifikasi <i>Clarifier</i> | 125 |
| Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Saringan Pasir | 125 |
| Tabel 5. 11 Spesifikasi Bak Air Bersih..... | 126 |
| Tabel 5. 12 Spesifikasi Bak Air Minum..... | 126 |
| Tabel 5. 13 <i>Cooling Tower</i> | 127 |
| Tabel 5. 14 Spesifikasi Tangki Kation..... | 128 |
| Tabel 5. 15 Spesifikasi Tangki NaCl | 128 |
| Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki NaCl | 129 |
| Tabel 5. 17 Spesifikasi Tangki NaOH | 129 |
| Tabel 5. 18 Spesifikasi Tangki Umpan Boiler | 130 |
| Tabel 5. 19 Spesifikasi Kondensor..... | 131 |
| Tabel 5. 20 Spesifikasi Boiler | 131 |
| Tabel 5. 21 Spesifikasi Udara | 132 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 6. 1 Indeks harga tahun 1999-2020..... | 134 |
| Tabel 6. 2 Perhitngan Harga Alat Proses | 137 |
| Tabel 6. 3 Identifikasi Resiko Pabrik berdasarkan Hazard Bahan..... | 146 |
| Tabel 6. 4 Identifikasi Resiko Pabrik Berdasarkan Proses | 148 |
| Tabel 6. 5 <i>Physical Plant Cost</i> | 151 |
| Tabel 6. 6 <i>Direct Plant Cost</i> | 151 |
| Tabel 6. 7 <i>Fixed Capital Invesment</i> | 151 |
| Tabel 6. 8 <i>Direct Manufacturing Cost</i> | 152 |
| Tabel 6. 9 <i>Indirect Manufacturing Cost</i> | 152 |
| Tabel 6. 10 <i>Fixed Manufacturing Cost</i> | 152 |
| Tabel 6. 11 <i>Manufacturing Cost</i> | 153 |
| Tabel 6. 12 <i>Working Capital</i> | 153 |
| Tabel 6. 13 <i>General Expense</i> | 153 |
| Tabel 6. 14 <i>Total Production Cost</i> | 154 |
| Tabel 6. 15 <i>Fixed Cost (Fa)</i> | 154 |
| Tabel 6. 16 <i>Variable Cost (Va)</i> | 154 |
| Tabel 6. 17 <i>Regulated Cost (Ra)</i> | 155 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|-----|
| Gambar 1. 1 Hubungan antara tahun dan kebutuhan impor fenol di Indonesia berdasarkan Badan Pusat Statistik | 3 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif Perancangan Pabrik Fenol dari Proses Raschig..... | 27 |
| Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif Perancangan Pabrik Fenol dari Proses Raschig..... | 28 |
| Gambar 3. 3 Arus di Sekitar Reaktor (R-01) | 67 |
| Gambar 3. 4 Arus di Sekitar Reaktor (R-02) | 68 |
| Gambar 3. 5 Arus di Separator (FD-01)..... | 69 |
| Gambar 3. 6 Arus di Absorberr (ABS-01)..... | 70 |
| Gambar 3. 7 Arus di Sekitar Menara Distilasi (MD-01)..... | 71 |
| Gambar 3. 8 Arus di Sekitar Menara Distilasi (MD-02)..... | 72 |
| Gambar 4. 1 Lokasi Pabrik Fenol..... | 79 |
| Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik Fenol | 83 |
| Gambar 4. 3 Tata Letak Proses Pabrik Fenol..... | 87 |
| Gambar 4. 4 Struktur Organisasi..... | 90 |
| Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas..... | 103 |
| Gambar 6. 1 Grafik Hubungan antara Tahun dan Indeks Harga..... | 135 |
| Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi | 157 |

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

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

| | |
|-----|--|
| Re | : Bilangan <i>Reynold</i> |
| E | : Efisiensi sambungan |
| Ri | : Jari-jari reaktor |
| C | : <i>Corrision allowance</i> |
| f | : <i>Allowable stress</i> , psia |
| icr | : Jari-jari sudut dalam, in |
| W | : Faktor intensifikasi tegangan untuk jenis <i>head</i> |
| sg | : <i>Spesific gravity</i> |
| Di | : Diameter pengaduk, m |
| W | : Tinggi pengaduk, m |
| Wb | : Lebar <i>baffle</i> , m |
| L | : Lebar pengaduk, m |
| Zi | : Jarak pengaduk, m |
| ZL | : Tinggi pengaduk, m |
| N | : Kecepatan pengadukan, rpm |
| Rd | : Faktor pengotor |
| H | : Efisiensi |
| N | : Jumlah banyaknya lilitan |
| L | : Panjang koil, m |
| p | : Panjang, m |
| l | : Lebar, m |
| hi | : <i>Inside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F |
| hio | : <i>Outside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F |

jH : *Heat transfer factor*

LMTD : *Long mean temperature different, °F*

N_t : *Jumlah tube*

ABSTRAK

Fenol adalah bahan kimia yang sangat penting dalam industri, namun produksinya masih terbatas dan tidak berkembang. Salah satu masalah utama dalam produksi fenol adalah proses produksi yang membutuhkan biaya besar. Tugas akhir ini membahas perancangan pabrik fenol dengan proses raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun. Proses ini menggunakan proses oksiklorinasi benzena dan hidrolisis dengan kebutuhan benzena 15.578 kg/jam, asam klorida 2.430 kg/jam, dan oksigen 3.195 kg/jam. Dengan demikian, pabrik ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi biaya operasional. Pabrik ini direncanakan di Kawasan Cilacap. Evaluasi ekonomi menunjukkan tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 33,13% sebelum pajak dan 23,19% setelah pajak. Analisa kelayakan menunjukkan bahwa pabrik ini layak secara teknis dan ekonomis. Dengan demikian, tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan industri kimia di Indonesia dan meningkatkan efisiensi produksi fenol untuk mengurangi ketergantungan impor.

Kata Kunci: Fenol, Raschig, Prancangan Pabrik, Oksiklorinasi, Hidrolisis.

ABSTRACT

Phenol is a highly important chemical in the industry, but its production is still limited and underdeveloped. One of the main challenges in phenol production is the high production costs. This thesis discusses the design of a phenol plant with a capacity of 7,000 tons per year using the Raschig process. This process involves the oxidation of benzene and hydrolysis with benzene 15.578 kg/jam, hydrochloric acid 2.430 kg/jam, dan oksigen 3.195 kg/jam . Therefore, this plant is expected to improve production efficiency and reduce operational costs. The plant is planned to be located at Cilacap Area. The economic evaluation shows a return on investment (ROI) of 33,13% before tax and 23,19% after tax. The technical and economic feasibility analysis indicates that this plant is viable. Therefore, this thesis is expected to contribute to the development of the chemical industry in Indonesia and improve phenol production efficiency to reduce dependence on imports.

Keywords: Phenol, Raschig, Plant Design, Oxidation, Hydrolysis.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang mana perlunya mengembangkan sektor industri untuk menunjang perekonomian yang lebih maju. Penjualan hasil produksi dari sektor industri juga sangat berpengaruh terhadap harga jual bahan baku menjadi bahan setengah jadi atau bahan jadi. Selain itu adanya pendirian pabrik juga dapat meningkatkan produksi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, meningkatkan dan menyeimbangkan ekonomi indonesia dalam bidang ekspor, dan memperluas lapangan pekerjaan untuk masyarakat indonesia. Salah satu peluang besar yaitu pabrik fenol.

Pabrik fenol termasuk pabrik kimia, yang mana terjadi perubahan bahan mentah meliputi benzena, asam klorida, dan udara menjadi fenol melibatkan reaksi kimia. Fenol atau disebut juga hidoksibenzena merupakan zat yang berbau dan tidak berwarna yang memiliki rumus molekul C_6H_5OH dan struktur gugus hidroksil (-OH) yang mana berkaitan dengan cincin fenil. Dengan adanya cincin tersebut fenol termasuk ke dalam senyawa aromatis. Fenol memiliki banyak kegunaan terutama dalam industri kimia sebagai bahan baku pembuatan BPA (*Bisphenol-A*) sebesar 30% sebagai campuran plastik, bahan baku *resin* sebesar 43% yang berfungsi sebagai perekat seperti lem dan *aniline* sebesar 7% sebagai bahan *akselerator* produksi karet, pestisida, pewarna, dan farmasi (Kirk & othmer, 1998).

Kebutuhan fenol di Indonesia semakin meningkat seiring bertambahnya industri di dalam negeri, tetapi dengan adanya penggunaan fenol di Indonesia yang semakin meningkat ketersediaan bahan baku yang ada juga semakin kecil. Permintaan impor yang besar linear dengan perkembangan industri di Indonesia masih kurang dalam memenuhi kebutuhan bahan baku dalam negeri.

Dengan didirikannya pabrik fenol ini dapat memberikan dampak positif, karena di Indonesia masih sedikitnya industri kimia yang memproduksi fenol dan dapat mengurangi penggunaan fenol yang diimpor dari luar negeri, meningkatkan pertumbuhan industri yang menggunakan bahan baku fenol, meningkatkan devisa negara dengan adanya ekspor fenol, dan menambah lapangan pekerjaan baru dalam sektor industri.

1.2. Penentuan Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi merupakan kemampuan maksimum yang diproduksi oleh pabrik persatuan waktu tertentu. Beberapa pertimbangan agar mendapatkan laba maksimum dengan biaya minimum yaitu diperlukanya data *supply* dan *demand*.

1.2.1 *Suplly*

Supply merupakan produk yang diperoleh dari data impor dan produksi dalam negeri.

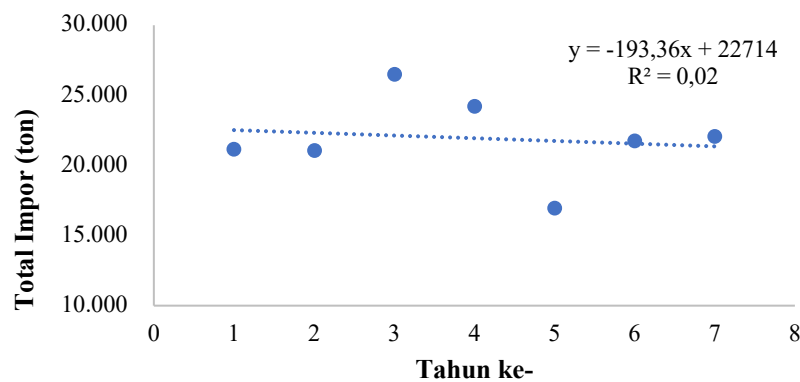
a. Data Impor

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, data impor fenol di Indonesia menunjukkan angka yang fluktuatif. Data impor fenol di Indonesia dari tahun 2016 sampai tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Data Impor Fenol pada Tahun 2016 s.d. 2022

| Tahun ke- | Tahun | Jumlah (ton) |
|-----------|-------|--------------|
| 1 | 2016 | 21.125 |
| 2 | 2017 | 21.037 |
| 3 | 2018 | 26.492 |
| 4 | 2019 | 24.209 |
| 5 | 2020 | 16.948 |
| 6 | 2021 | 21.746 |
| 7 | 2022 | 22.029 |

Sumber: Badan Pusat Statistik



Gambar 1. 1 Hubungan antara tahun dan kebutuhan impor fenol di Indonesia berdasarkan Badan Pusat Statistik

Perkiraan impor fenol di Indonesia pada tahun yang akan datang saat pembangunan pabrik dihitung menggunakan persamaan garis linier:

$$y = -193,36x + 22.714 \quad (1.1)$$

Dimana nilai x sebagai tahun dan y sebagai jumlah impor fenol. Pabrik diproyeksikan akan dibangun pada tahun 2027, maka impor fenol pada tahun 2027 (tahun ke-10) adalah:

$$y = -193,36x + 22.714$$

$$y = -193,36 (10) + 22.714$$

$$y = 20.780 \text{ ton}$$

b. Data Produksi

Berdasarkan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi di Indonesia tercatat pabrik fenol yang beroperasi dengan kapasitas produksi masing-masing sebagai berikut:

Tabel 1. 2 Daftar Nama Perusahaan Fenol di Indonesia

| No | Nama Perusahaan | Alamat perusahaan | Kapasitas (ton/tahun) |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 1. | PT. Metropolitan phenol Pratama | Serang, Banten | 40.000 |
| 2. | PT. Lambang Tri Usaha | Cibitung, Bekasi, Jawa Barat | 45.000 |
| 3. | PT Batu Penggal Chemical Industri | Samarinda, Kalimantan Timur | 35.000 |
| 4. | PT Bumi Banjar Utama Sakti | Barito kuala, Kalimantan Selatan | 5.250 |
| Total | | | 125.250 |

Sumber: BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)

Berdasarkan data produksi tersebut, produksi fenol dianggap tetap sebesar 125,250 ton/tahun karena pabrik telah beroperasi pada kapasitas terpasangnya.

Sehingga untuk menentukan *supply* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Supply} &= \text{Impor} + \text{Produksi} \\
 &= 20.780 + 125.250 \text{ ton/tahun} \\
 &= 146.030 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

1.2.2 Demand

Nilai *demand* diperoleh dari nilai konsumsi fenol. Dalam negeri.

a. Konsumsi dalam Negeri

Fenol banyak dimanfaatkan untuk pembuatan Bisphenol-A (30%), resin fenolic (43%), kaprolaktam (15%), anilin (7%), dan alkil fenol (5%) dari fenol (Kirk & Othmer, 1998). Data konsumsi fenol dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Data Konsumsi Fenol di Indonesia

| No | Nama Perusahaan | Produk | Alamat | Kapasitas Produksi (Ton/tahun) |
|---|--------------------------------|---------------|--|--------------------------------|
| 1 | PT Indo Nan Pao Resin Chemical | Bisphenol-A | Jati Uwung, Tangerang, Banten | 12.000 |
| 2 | PT Phodia | Bisphenol-A | Jakarta Selatan | 20.000 |
| Total | | | | 32.000 |
| Fenol digunakan dalam pembuatan Bisphenol-A sebanyak 30% (Sumber: Kirk-Othmer, 1985) | | | | 9.600 |
| 1 | PT Intan Wijaya Internasional | Resin Fenolic | Jalan Trisakti, Banjarmasin, Kalimantan Selatan | 75.400 |
| 2 | PT Sabak Indah | Resin Fenolic | Kuala Dendang, Muara Sabak, Tanjung Jabun, Jambi | 63.600 |
| 3 | PT Arjuna Utama Kimia | Resin Fenolic | Jalan Rungkut Industri, Surabaya, Jawa Timur | 43.000 |
| 4 | PT Korindo Abadi | Resin Fenolic | Tanjung pinang, Riau | 35.314 |
| 5 | PT Indopherin Jaya | Resin Fenolic | Kademangan, Probolinggo, Jawa Timur | 10.428 |
| 6 | PT Dynea Mugi Indonesia | Resin Fenolic | Mabar, Medan, Sumatera Utara | 10.000 |
| 7 | PT Susel Prima Permai | Resin Fenolic | Palembang, Sumatera Selatan | 14.000 |

Tabel 1.3 Data Konsumsi Fenol di Indonesia (Lanjutan)

| No | Nama Perusahaan | Produk | Alamat | Kapasitas Produksi (ton/tahun) |
|--|------------------------------|---------------|---|--------------------------------|
| 8 | PT Superin Utama Adhesive | Resin Fenolic | | 16.000 |
| 9 | PT Binajaya Rodakarya | Resin Fenolic | Desa Jelapat, Kabupaten Barito, Kuala, Kalimantan Selatan | 12.000 |
| 10 | PT Perawang Perkasa Industri | Resin Fenolic | Desa perawang, Siak, Bengkalis, Pekanbaru, Riau | 9.000 |
| 11 | PT Laktosa Indah | Resin Fenolic | Mangkujenang, Palaran, Samarinda, Kalimantan Timur | 40.000 |
| 12 | PT Meranti Mustika | Resin Fenolic | Sampit, Kalimantan Tengah | 22.200 |
| 13 | PT Continental Solvindo | Resin Fenolic | Serang, Banten | 18.000 |
| 14 | PT Duta Pertiwi Nusantara | Resin Fenolic | Pontianak, Kalimantan Barat | 19.000 |
| Total | | | | 387.942 |
| Fenol digunakan dalam pembuatan Resin fenolik sebanyak 35% (Sumber: Kirk-Othmer, 1985) | | | | 135.779 |
| 1 | PT Clariant Indonesia | Anilin | Kecamatan Jati Uwung, Tangerang, banten | 21.927 |
| 2 | PT Dystar Colour Indonesia | Anilin | Cilegon, Banten | 3.000 |
| 3 | PT Inti Everspring Indonesia | Anilin | Kecamatan Pulo Ampel, Kab. Serang, Banten | 1.700 |
| 4 | PT Multikimia Intipelangi | Anilin | Kecamatan Cibitung, Bekasi, Jawa Barat | 5.00 |
| Total | | | | 27.127 |
| Fenol digunakan dalam pembuatan Anilin sebanyak 5% (Sumber: Kirk-Othmer, 1985) | | | | 1.356 |

Sumber: <https://tkdn.kemenperin.go.id>

Data di atas menunjukkan jumlah kebutuhan fenol di Indonesia adalah (9.600 + 135.779 + 1.356) ton/tahun = 146.736 ton/tahun.

Data konsumsi fenol di Indonesia digunakan sebagai nilai *demand*, sehingga didapatkan peluang pasar untuk fenol yang akan digunakan untuk kapasitas perancangan pabrik sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Peluang} &= \text{Demand} - \text{Supply} \\ &= (146.736 - 146.030) \text{ ton/tahun} \\ &= 7.060 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan peluang yang telah diperoleh, dan juga berdasarkan kapasitas-kapasitas pabrik yang ada di Indonesia yang memproduksi fenol dengan *range* kapasitas produksi sekitar 5.000 ton/tahun sampai 45.000 ton/tahun, maka perancangan pabrik fenol yang akan didirikan ini memiliki kapasitas sebesar 7.000 ton/tahun dengan mempertimbangkan dapat memenuhi kebutuhan fenol dalam negeri dan juga ketersediaan bahan baku yang ada. Bahan baku HCl yang digunakan dapat diperoleh dari PT. Asahimas Chemical, Cilegon, Banten dan benzene diperoleh dari PT. Pertamina RU IV, Cilacap.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Dalam perancangan pabrik fenol ini membutuhkan bahan baku benzene dan asam klorida. Bahan baku benzene diperoleh dari PT Pertamina RU IV dengan kapasitas 110.000 ton/tahun dan PT PT. Trans-Pasific Petrochemical Indotama (TPPI) dengan kapasitas 440.000ton/tahun yang mana kebutuhan dari pabrik fenol adalah sebesar 123.751 ton/tahun . Sedangkan, untuk bahan

baku asam klorida diperoleh dari produksi PT Asahimas Chemical dengan kapasitas 349.000 ton/tahun yang mana kebutuhan dari pabrik fenol sebesar 19.303 ton/tahun.

Berdasarkan pertimbangan ketersediaan bahan baku di atas, maka kami merencanakan akan mendirikan pabrik fenol dengan kapasitas 7.000 ton/tahun dengan tujuan dan harapan agar dapat membantu memenuhi kebutuhan dari penggunaan fenol di Indonesia sehingga dapat mengurangi angka impor yang biasa dilakukan untuk memenuhi kebutuhan fenol dalam negeri.

1.3. Tinjauan Pustaka

Fenol yang dikenal sebagai asam karbolik atau hidroksibenzena merupakan senyawa organik yang memiliki rumus kimia C_6H_5OH . Fenol adalah senyawa yang memiliki cincin benzena yang terikat pada sebuah gugus hidroksil (-OH) yang tidak berwarna dan memiliki bau yang khas dan rasa yang pedas. Fenol juga memiliki sifat asam kuat karena gugus hidroksilnya dapat melepaskan proton (H^+).

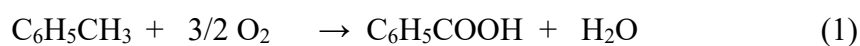
Fenol memiliki berbagai penggunaan dalam industri, yaitu bahan campuran pembuatan resin, produksi obat-obatan, sebagai bahan baku pembuatan detergen, pembuatan plastik, dan sebagai indikator analisis kimia.

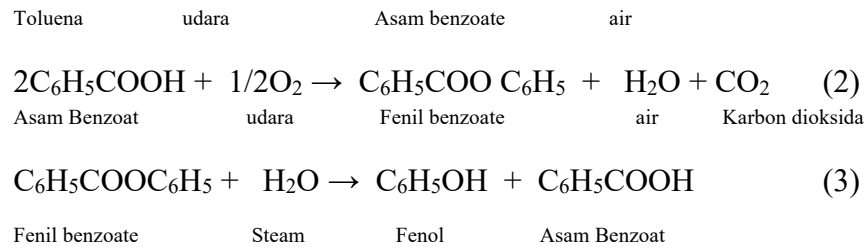
Fenol dapat dibuat menggunakan proses *raschig*, yang mana proses *raschig* dilakukan pertama kali dilakukan oleh *Khoene-Poulene* pada tahun 1932. Reaksi *raschig* menggunakan bahan dasar benzena melalui 2 tahap, yang pertama pembentukan klorinasi benzena menggunakan asam klorida dan udara dengan

katalis besi katalis tembaga (Cu) pada suhu 200-260°C menghasilkan klorobenzene dan air, yang kedua klorobenzene dihidrolisis dengan katalis Cu pada suhu 480°C menghasilkan Fenol dan HCl. Adapun proses pembuatan fenol selain proses *raschig* adalah sebagai berikut:

1.3.1 Pembentukan Fenol dari Toluene-Asam Benzoat

Proses pembuatan fenol dengan oksidasi toluena telah digunakan oleh Dow Chemical Corporation, di kalama, Washington, Dow Canada Ltd di hadner, British Columbia British Columbia dan di Rosenberg, Netherland (Dutch State Mines). Proses oksidasi toluena terdiri dari tiga tahapan. Pertama, oksidasi toluena dengan udara menggunakan katalisator *cobalt benzoate* menghasilkan asam benzoat. Pada tahap di reaktor beroperasi pada suhu 121-177°C dan tekanan 2 atm dan konsentrasi katalis sebesar 0,1-0,3% berat. Pada proses oksidasi toluene, yield reaksi yang didapat sebesar 68% terhadap toluena. Sedangkan proses kedua adalah dilakukannya oksidasi asam benzoat menggunakan oksigen yang terdapat di dalam udara menggunakan katalisator *copper benzoat* dengan proses pemanasan yang menghasilkan fenol. Pada reaksi tahap kedua reaksi terjadi pada suhu 234°C dan tekanan 1,5 atm. Tahap ketiga dari proses toluen-asam benzoat, fenol benzoat menggunakan steam menghasilkan fenol. Proses ini berlangsung pada suhu 200°C dan tekanan atmosferis. Yield proses fenol yang didapat terhadap asam benzoat sebesar 88% (Kirk & Othmer, 1996). Persamaan reaksi oksidasi toluena-asam benzoat menjadi fenol adalah sebagai berikut:





1.3.2 Pembuatan Fenol dengan Proses Sulfonasi Benzena

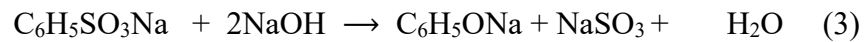
Proses pembuatan fenol dengan sulfonasi benzena, benzena disulfonasi menggunakan asam sulfat menjadi asam benzena sulfonat pada suhu 150°C. Kemudian asam benzena sulfonat dinetralkan menggunakan natrium sulfit menjadi natrium benzena sulfonat. Natrium benzena sulfonat direaksikan dengan kaustik soda untuk menghasilkan natrium fenat pada suhu 380°C. Fenol didapatkan melalui pengasaman larutan natrium fenat dengan yield proses 88% terhadap benzena (Kirk & Othmer, 1996). Reaksi secara keseluruhan yang terjadi adalah sebagai berikut:



Benzena Asam Sulfat Benzen Sulfonat Air



Benzen Sulfonat Natrium Sulfat Natrium Benzen Sulfonat Air Sulfur Dioksida



Natrium Benzen Sulfonat Natrium Hidroksida Natrium Fenat Natrium Sulfat Air

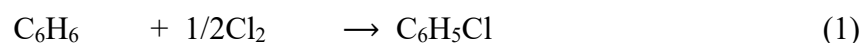


Natrium Fenat Sulfur Dioksida Air Fenol Natrium Sulfat

Secara umum, proses ini menggunakan tipe proses batch karena reaksi pada fusionator sangat lambat. Waktu tinggal reaktor yang dibutuhkan pada proses tersebut berlangsung selama 5 hingga 6 jam.

1.3.3 Pembuatan Fenol dari Klorobenzene dan Natrium Hidroksida

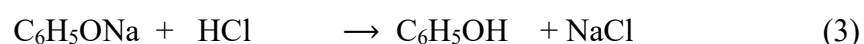
Pada proses ini klorobenzen di klorinasi dari benzena dan gas klorin pada suhu 38-60°C dengan bantuan katalis FeCl₃, kemudian dihidrolisis menggunakan natrium hidroksida membentuk natrium fenat pada suhu 400°C dan tekanan 2,56 kPa (260 atm). Pada reaksi pembentukan fenol melalui proses ini menggunakan suhu tinggi sekitar 140-160°C dan tekanan sekitar 25 atm. Yield proses fenol terhadap klorobenzena sebesar 82% (Kirk & Othmer, 1996). Reaksi secara keseluruhan yang terjadi adalah sebagai berikut:



Benzena Klorin Klorobenzen



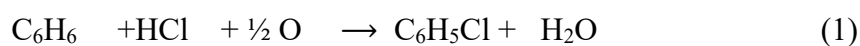
Klorobenzen Natrium Hidroksida Natrium Fenat Air Natrium Klorida



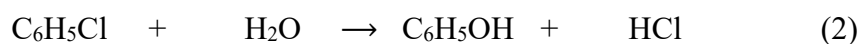
Natrium Fenat Asam Klorida Fenol Natrium Klorida

1.3.4 Pembuatan Fenol dari Oksiklorinasi Benzene (Proses Raschig)

Proses ini pertama kali dilakukan pada tahun 1932 oleh *Khoene-Poulenc*. Reaksi klorinasi benzena menggunakan asam klorida dan udara dengan katalis besi dan tembaga klorida berlangsung pada suhu 200-260°C menghasilkan klorobenzena. Klorobenzena dihidrolisis pada *furnace* pada suhu 480°C dengan katalis SiO₂ dan membentuk fenol. Asam klorida yang terbentuk pada proses ini kemudian di-*recycle*. *Yield* proses fenol terhadap benzena yang didapat sebesar 90% (Kirk & Othmer, 1996). Reaksi secara keseluruhan yang terjadi adalah sebagai berikut:



Benzena Asam Klorida Udara Klorobenzen Air



Klorobenzen Air Fenol Asam Klorida

Fenol yang dikenal sebagai asam karbolik atau hidroksibenzena merupakan senyawa organik yang memiliki rumus kimia C₆H₅OH. Fenol adalah senyawa yang memiliki cincin benzena yang terikat pada sebuah gugus hidroksil (-OH) yang tidak berwarna dan memiliki bau yang khas dan rasa yang pedas. Fenol juga memiliki sifat asam kuat karena gugus hidroksilnya dapat melepaskan proton (H⁺).

Fenol memiliki berbagai penggunaan dalam industri, yaitu bahan campuran pembuatan resin, produksi obat-obatan, sebagai bahan baku pembuatan detergen, pembuatan plastik, dan sebagai indikator analisis kimia.

Fenol dapat dibuat menggunakan proses *raschig*, yang mana proses *raschig* dilakukan pertama kali oleh *Khoene-Poulene* pada tahun 1932. Reaksi *raschig* menggunakan bahan dasar benzena melalui 2 tahap, yang pertama pembentukan klorinasi benzena menggunakan asam klorida dan udara dengan katalis besi katalis tembaga (Cu) pada suhu 200-260°C menghasilkan klorobenzene dan air, yang kedua klorobenzene di hidrolisis dengan katalis Cu pada suhu 480°C menghasilkan fenol dan asam klorida.

1.4. Pemilihan Proses Produksi

Adapun perbandingan proses pembuatan fenol adalah sebagai berikut :

Tabel 1. 4 Perbandingan jenis proses pembuatan fenol

| Parameter | Macam-macam proses | | | |
|--------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | Raschig | Toluene-Asam Benzoat | Sulfonasi Benzen | Klorobenzen NaOH |
| Bahan Baku | Benzena, HCl, dan Udara | Toluena dan Udara | Benzena dan Asam Sulfat | Benzena dan Klorin |
| Kondisi Operasi Suhu | 200-480°C | 480°C | 150-380°C | 275-500°C |
| Fase | Gas | Gas | Gas | Gas |
| Katalis | Tembaga dan Besi | Naphthalene | Aluminium Klorida | Zeolit |
| Yeild | 90% | 88% | 88% | 82% |
| Limbah dan Hasil Samping | Klorobenzen | - | - | Diklorobenzen dan HCl |
| Jenis Reaktor | Fixed Bed/Packed Bed Reactor | Fixed Bed Reactor | Fixed Bed Reactor | Fixed Bed Multitube Reactor |

Sumber : Hafisah Istiqomah, Q.A. and Hayuningtias, D., 2019.

1.5. Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

Tinjauan kinetika dan termodinamika diperlukan agar reaksi dapat berlangsung sesuai dengan kondisi dan konversi yang diinginkan.

1.5.1 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika merupakan studi mengenai laju reaksi yang mana untuk mengetahui cepat atau lambatnya reaksi kimia yang terjadi pada reaktor. Pada proses *raschig* data yang diperlukan yaitu reaksi klorinasi benzen dengan udara dan HCl, dan reaksi hidrolisis klorobenzen dan air. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi kimia, seperti suhu, luas permukaan partikel, konsentrasi reaktan, katalisator, dan lain-lain. Maka, penting untuk mengetahui kinetika reaksi kimia agar membantu dalam pengembangan dan perbaikan proses yang melibatkan reaksi kimia.

Parameter yang digunakan pada kinetika reaksi, yaitu orde reaksi, laju reaksi, konstanta laju reaksi, energi aktivasi, dan lain-lain. Orde reaksi adalah tingkat pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi. Laju reaksi adalah perubahan konsentrasi reaktan atau produk per satuan waktu, biasanya dalam satuan mol per liter per detik, sedangkan konstanta laju reaksi adalah kestabilan antara konsentrasi reaksi dan laju reaksi.

Faktor-faktor lain seperti suhu, katalisator, dan konsentrasi reaktan dapat mempengaruhi orde reaksi dan laju reaksi, seperti kenaikan suhu yang berbanding lurus dengan laju reaksi, semakin tinggi suhunya semakin cepat laju reaksinya dan dapat meningkatkan energi kinetik partikel, sehingga

meningkatkan kemungkinan tabrakan antar partikel. Selain itu penambahan katalisator dapat membutuhkan energi aktivasi dan meningkatkan laju reaksi.

Konstanta laju reaksi dan energi aktivasi dapat ditunjukkan dengan persamaan Arrhenius pada persamaan berikut:

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Dimana:

K = Konstanta Laju Reaksi

A = Faktor Frekuensi

E_a = Energi Aktivasi

R = Konstanta Gas Ideal

T = Suhu (K)

Sesuai perhitungan kinetika didapatkan sebesar:

$$\log\left(\frac{k}{M^{-1}s^{-1}}\right) = 10,5 \text{Exp}^{-\frac{8,2}{2,3RT}} \quad (\text{Born, J.G., 1993}) \quad \text{Persamaan (1)}$$

$$k(\text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) = (5,28E + 14) \text{Exp}^{\frac{27,40}{RT}} \quad (\text{Gao, Yide., 2009})$$

Persamaan (2)

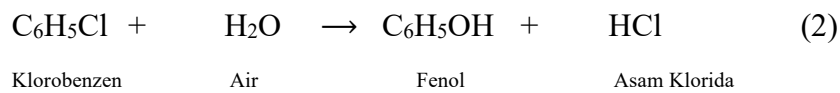
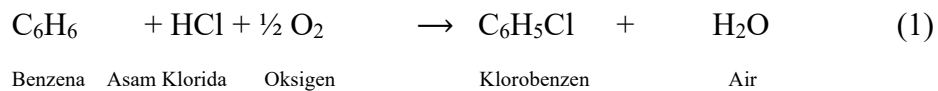
1.5.2 Tinjauan Termodinamika

Termodinamika yang berasal dari kata *thermos* berarti panas dan *dynamics* yang berarti perubahan. Jadi termodinamika adalah ilmu yang mempelajari tentang penyimpanan (*storage*), pengubahan (*transformation*), dan pemindahan (*transfer*) energi terutama panas.

Kajian termodinamika adalah bagian dari kajian termofisika, yang merupakan cabang ilmu fisika yang mengkaji keterkaitan kalor dan

perubahan perilaku zat. Kajian termofisika sangat luas dan meliputi ilmu: kslorimetri, termometri, perpindahan kalor, termodinamika, teori kinetik gas, dan fisika statistic. (Nuriyah, L., 2021)

Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan fenol dengan proses *raschig* sebagai berikut:



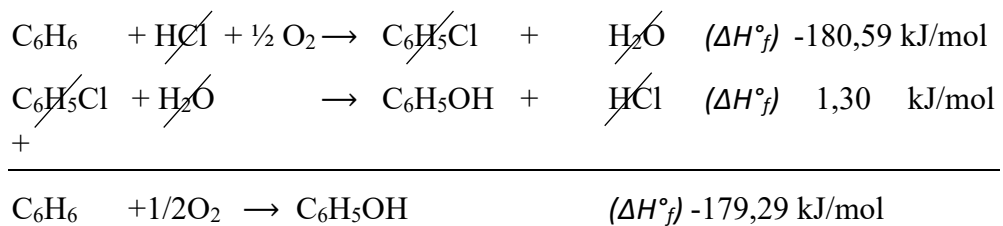
Data panas pembentukan (ΔH_f°) pada 298°K pada setiap komponen diperoleh dari buku “*Chemical Properties Handbook*” adalah sebagai berikut: (Yaws, 1999)

Tabel 1. 5 Nilai ΔH_f° masing-masing komponen

| Komponen | ΔH_f° (kJ/mol) |
|----------------------------------|-----------------------------|
| C ₆ H ₆ | 82,93 |
| HCl | -92,30 |
| 1/2O ₂ | 0 |
| C ₆ H ₅ Cl | 51,84 |
| H ₂ O | -241,80 |
| C ₆ H ₅ OH | -96,36 |

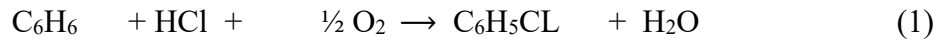
Sumber : Yaws, 1999.

Reaksi yang berlangsung:



Menentukan perubahan entalpi (ΔH°_R) dari panas pembentukan

(ΔH°_f) 298 °k. Reaksi 1:



$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{R1(298^{\circ}\text{K})} &= \Sigma H^{\circ}_{f\text{produk}} - \Sigma H^{\circ}_{f\text{Reaktan}} \\ &= (82.93 + (-92.30)) - (82.93 + (-92.30) + 0) \\ &= -180,59 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi 2:



$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{R1(298^{\circ}\text{K})} &= \Sigma H^{\circ}_{f\text{produk}} - \Sigma H^{\circ}_{f\text{Reaktan}} \\ &= (82.93 + (-92.30)) - ((-96,36) + (-92,30)) \\ &= 1,30 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai $\Sigma \Delta H^{\circ}_{R(298^{\circ}\text{k})}$ adalah:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta H^{\circ}_{R(298^{\circ}\text{K})} &= \Delta H^{\circ}_{R1(298^{\circ}\text{K})} + \Delta H^{\circ}_{R2(298^{\circ}\text{K})} \\ &= -180,59 + 1,30 \text{ kJ/mol} \\ &= -179,29 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$\Sigma \Delta H^{\circ}_{R(298^{\circ}\text{K})}$ bernilai negatif, sehingga reaksi berlangsung secara eksotermis.

Data Panas Pembentukan (ΔG°_f) pada 298 °k pada setiap komponen diperoleh dari buku “*Chemical Properties Handbook*” adalah sebagai berikut: (Yaws, 1999).

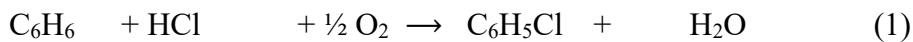
Tabel 1. 6 Nilai ΔG°_f masing-masing komponen

| Komponen | (kJ/mol) |
|----------------------------------|----------|
| C ₆ H ₆ | 129,66 |
| HCL | -95,30 |
| 1/2O | 0 |
| C ₆ H ₅ CL | 99,16 |
| H ₂ O | -228,60 |
| C ₆ H ₅ OH | -32,89 |

Sumber : Yaws, 1999.

Menentukan perubahan entalpi (H°_R) dari panas pembentukan (H°_G) 298 °k

Reaksi 1:



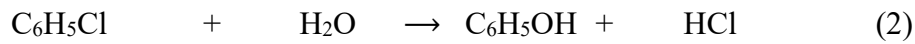
$$\begin{aligned} G^\circ_{R1(298^\circ\text{K})} &= \Sigma G^\circ_{f \text{ produk}} - \Sigma G^\circ_{f \text{ Reaktan}} \\ &= ((129,66) + (-95,30)) - ((99,16) + (-228,60)) \\ &= -163,80 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Konstanta kesetimbangan (K_1) pada suhu 298°K dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \ln K_1 &= \frac{-\Delta G}{RT} \\ &= \frac{-(-163800)}{8,314 \times 298} \\ &= 0,13143760 \\ &= e^{0,13143760} \\ &= 1,14047 \end{aligned}$$

Karena nilai kesetimbangan lebih dari >1 , sehingga reaksi berjalan searah menuju produk atau *irreversible*.

Reaksi 2:



$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{R1(298^{\circ}\text{K})} &= \Sigma \Delta G^{\circ}_{f\text{produk}} - \Sigma \Delta G^{\circ}_{f\text{Reaktan}} \\ &= ((99,16) + (-228,60)) - ((-32,89) + (-95,30)) \\ &= 1,25 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Konstanta kesetimbangan (K_2) pada suhu 298°K dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\ln K_2 &= \frac{-\Delta G^{\circ}}{RT} \\ &= \frac{-(1250)}{8,314 \times 298} \\ &= -0,00071768 \\ &= e^{-0,00071768} \\ &= 0,999283\end{aligned}$$

Karena nilai kesetimbangan kurang lebih dari <1 , sehingga reaksi berjalan bolak-balik atau *reversible*.

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1. Spesifikasi Bahan

2.1.1 Bahan Baku

Tabel 2. 1 Spesifikasi Bahan Baku

| Spesifikasi | Air | Asam Klorida | Benzene | Udara | | Klorobenzene |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| | | | | Nitrogen | Oksigen | |
| Rumus Kimia | H₂O | HCl | C₆H₆ | N₂ | O₂ | C₆H₅Cl |
| Berat Molekul | 18 g/mol | 36,5 g/mol | 78,114 g/mol | 28 g/mol | 32 g/mol | 112,5 g/mol |
| Fase | Cair | Cair | Cair | Gas | Gas | Cair |
| Wujud | Tidak berwarna | Tidak berwarna | Tidak berwarna | Tidak berwarna | Tidak berwarna | Tidak berwarna |
| Titik didih | 373,2 K | 188,15 K | 353,2 K | 77,4 K | 90,2 K | 404,9 K |
| Titik beku | 273,15 K | 158,97 K | 278,7 K | 63,3 K | 54,4 K | 227,6 K |
| Kelarutan dalam air | - | 67,3 g/L | 1,88 g/L | - | -218,9 g/L | - |
| Densitas | 0,997 g/cm ³ | 1,159 g/cm ³ | 0,876 g/cm ³ | 0,3109 g/cm ³ | 0,436 g/cm ³ | 1,11 g/cm ³ |

| Spesifikasi | Air | Asam Klorida | Benzene | Udara | | Klorobenzene |
|-------------|-------------|--------------|---------------|----------|---------|---------------|
| | | | | Nitrogen | Oksigen | |
| Harga | \$64,03/ton | \$80.067/ton | \$148.580/ton | - | - | \$183.853/ton |

2.1.2 Bahan Pendukung

Tabel 2. 2 Spesifikasi Bahan Pendukung

| Spesifikasi | Katalis Tembaga (II) Klorida | Katalis Silika Dioksida |
|---------------------|------------------------------|-------------------------|
| Rumus Kimia | CuCl_2 | SiO_2 |
| Berat Molekul | 134 g/mol | 60,084 g/mol |
| Fase | Padat | Padat |
| Wujud | Bola kecil berwarna | Bola kecil berwarna |
| Titik didih | 1266,15 K | 2503,20 K |
| Titik beku | 906,15 K | 1883 K |
| Kelarutan dalam air | 0,0062 g/L | 22,2 g/L |
| Densitas | 1,05 g/cm ³ | 2,65 g/cm ³ |
| Harga | \$246/kg | \$223/kg |

2.1.3 Produk

Tabel 2. 3 Spesifikasi Hasil Produk

| Spesifikasi | Fenol |
|---------------------|------------------------|
| Rumus Kimia | C_6H_5OH |
| Berat Molekul | 94 |
| Fase | Padat |
| Wujud | Kristal tidak berwarna |
| Titik didih | 455 K |
| Titik beku | 314 K |
| Kelarutan dalam air | 8,3 g/L |
| Densitas | 1,07 g/cm ³ |
| Harga | \$514.861/ton |

2.2. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas pada pabrik fenol ini meliputi pengendalian kualitas bahan baku dan produk, pengendalian proses produksi, dan pengendalian kuantitas.

2.2.1. Pengendalian kualitas bahan baku dan produk

Kualitas dari bahan baku sangat berpengaruh pada hasil mutu standar produk. Untuk mendapatkan produk yang berkualitas maka diperlukan pengendalian kualitas dari bahan baku yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana kualitas bahan baku yang digunakan.

Pengendalian kualitas dapat dilakukan melalui pengujian kualitatif dan kuantitatif di laboratorium dengan melihat standar yang sudah ditentukan oleh pabrik. Ketika bahan baku sudah sesuai standar, maka akan dilanjutkan ke dalam proses produksi dengan melakukan pengawasan dan pengendalian menggunakan *system control* sehingga akan dihasilkan produk yang berkualitas yang siap untuk dipasarkan.

2.2.2. Pengendalian Proses Produksi

Pengendalian proses produksi dilakukan bertujuan agar proses produksi berjalan dengan sempurna tidak adanya kendala yang terjadi selama proses pembuatan untuk meminimalisir hasil produk cacat. Pengendalian produksi bisa dilakukan melalui sistem kontrol manual maupun digital.

Pengendalian proses produksi dilakukan dengan bantuan *detector* yang berpusat di *control room* maupun dengan pengecekan langsung pada alat. kontrol yang dilakukan biasanya telah diatur sesuai kebutuhan alat dan proses

produksi seperti *temperature, pressure, flow rate, dan level control*. Alat pengendali akan berfungsi ketika terjadinya penyimpangan pada alat yang sudah diatur sesuai kebutuhan ditandai dengan adanya bunyi alarm, nyala lampu, dan lain-lain. Apabila terjadi penyimpangan maka harus dikembalikan pada kondisi atau pengaturan awal secara *automatic* atau *manual*.

Alat kontrol yang biasa digunakan yaitu pada kondisi operasi baik tekanan maupun *temperatur*. Alat yang diatur pada kondisi tertentu diantaranya:

a) *Temperature Control*

Temperature control adalah *controller* yang digunakan pada setiap alat proses. Sensor akan bekerja apabila suhu tidak sesuai dengan kondisi yang ditetapkan yang akan bereaksi menimbulkan isyarat berupa suara dan lampu.

b) *Pressure Control*

Pressure control adalah *controller* yang digunakan pada alat bertekanan tinggi. Sensor akan bekerja *input* berupa tekanan tidak sesuai *setpoint*. Jika nilai *input* tidak sesuai dengan *setpoint*, maka *controller* akan mengirimkan sinyal perbaikan mengikut hasil perhitungan awal.

c) *Flow Rate*

Flow rate adalah alat yang digunakan pada aliran bahan baku biasanya terdapat pada aliran *valve input* dan aliran *valve output* tangki.

d) *Level Control*

Level control adalah alat yang digunakan di dalam tangki dengan mengukur ketinggian bahan baku yang ada dalam tangki apakah sudah memenuhi *setpoint* atau tidak pada pembuatan produk agar bahan baku selalu tersedia. Jika bahan baku tidak memenuhi dengan kondisi yang sesuai, maka akan timbul pemberitahuan berupa suara dan nyala lampu. Pengendalian proses produksi dilakukan agar menghasilkan produk yang sesuai standar mutu dan sesuai dengan permintaan pasar dengan tepat waktu sesuai *timeline*.

2.3. Alat system Kontrol

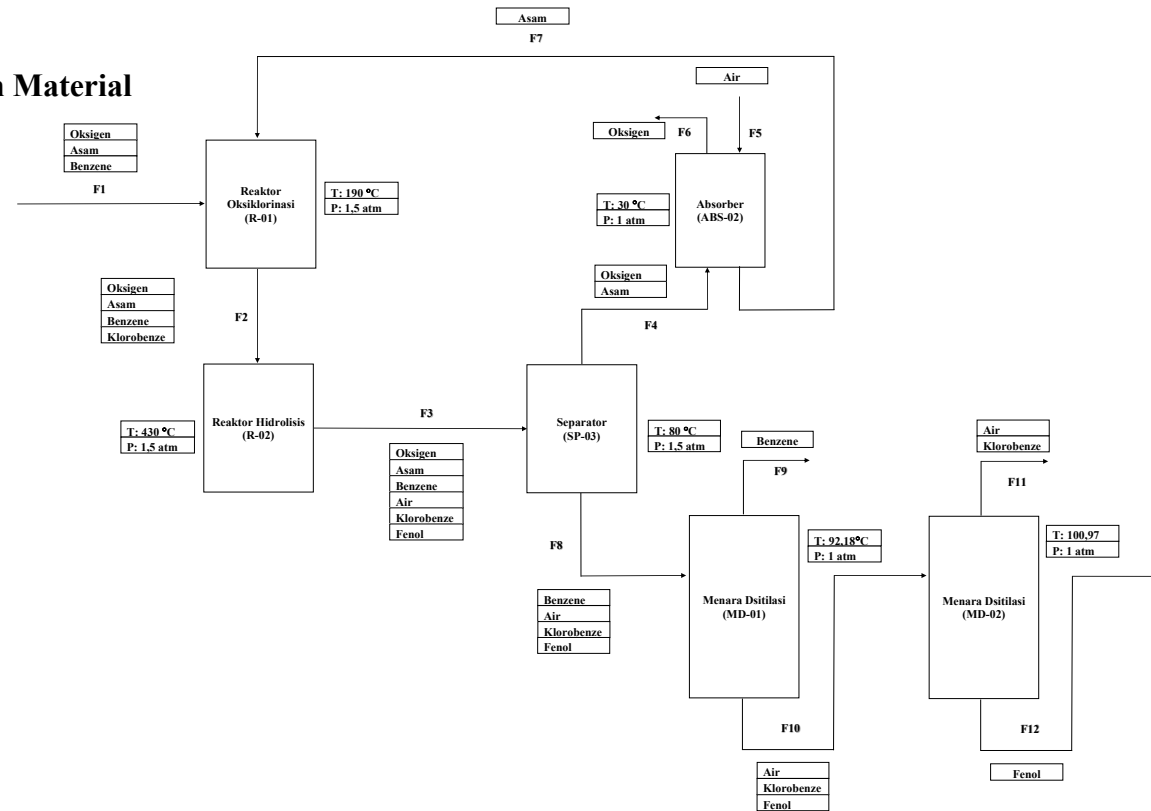
- a) Sensor berfungsi sebagai pembaca indikator yang ingin diketahui dari alat yang digunakan, seperti pembacaan suhu menggunakan sensor *termocouple*, dan sensor manometer digunakan untuk pembacaan tekanan, level, dan aliran fluida.
- b) Controller meliputi *level indicator*, *temperature control*, *pressure control*, dan *flow control*.
- c) Actuator berfungsi sebagai penggerak agar variabel yang dikontrol sesuai dengan nilai yang diinginkan. terdapat dua jenis aktuator yang digunakan seperti *automatic control valve* dan *manual control valve*.

2.4. Pengendalian Kuantitas

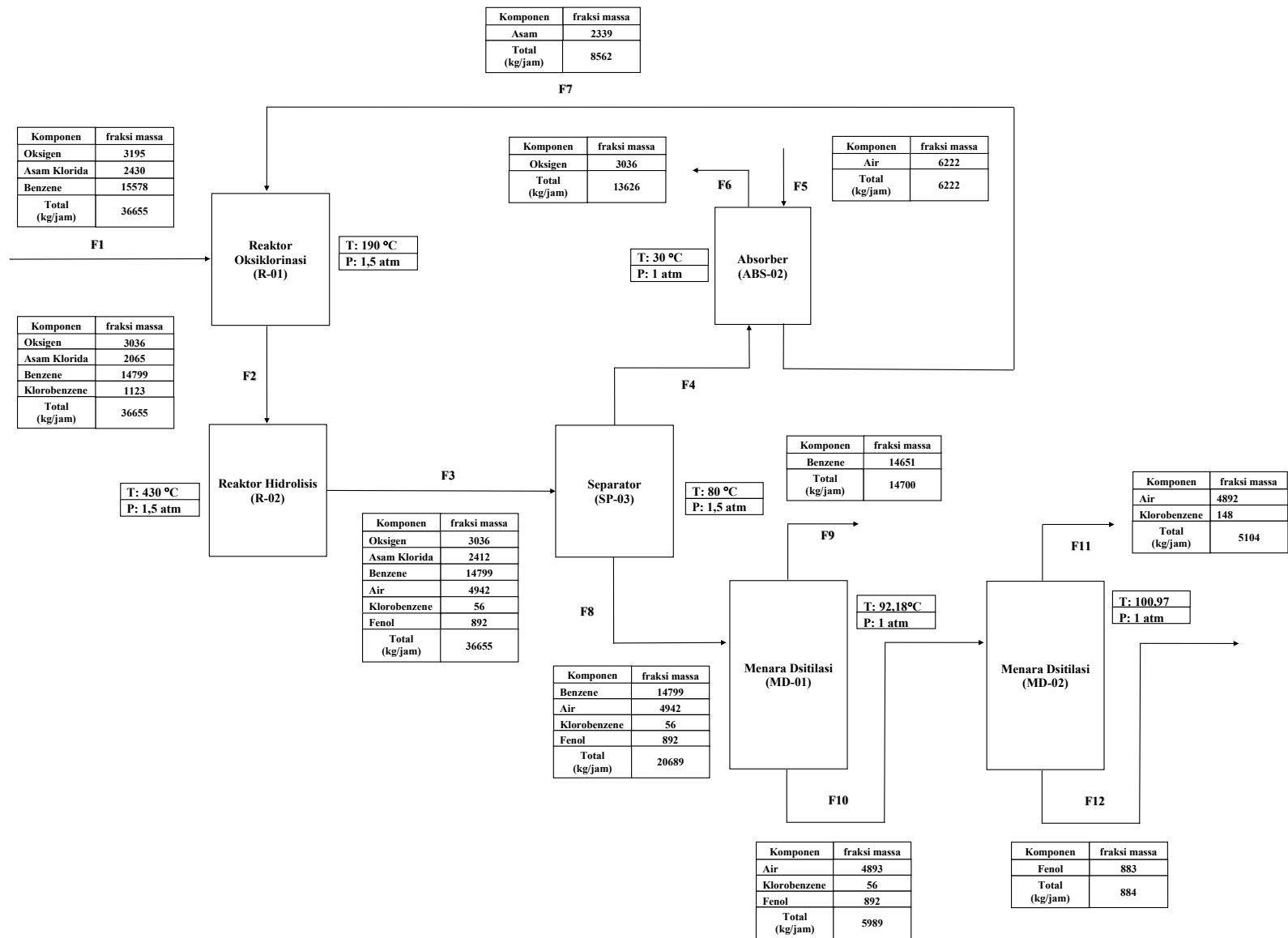
Pengendalian kuantitas berfungsi untuk mengendalikan produksi agar hasil yang dikeluarkan sesuai dengan perencanaan awal. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan penyimpangan kuantitas, diantaranya *human error*, ketersediaan bahan baku, *maintanance*, anggaran produksi, kerusakan mesin, dan lain-lain. Jika terjadi penyimpangan maka perlu dilakukan identifikasi dan evaluasi untuk pengurangi penyimpangan. Selanjutnya diadakan perencanaan kembali sesuai kondisi awal Perusahaan.

BAB III PERANCANGAN PROSES

3.1. Diagram Alir Proses dan Material



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif Perancangan Pabrik Fenol dari Proses Raschig



Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif Perancangan Pabrik Fenol dari Proses Raschig

3.2. Uraian Proses

3.2.1. Tahap Preparasi Bahan Baku

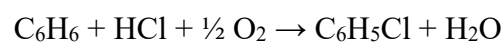
Proses pembuatan fenol menggunakan bahan baku benzene, asam klorida, dan oksigen dengan perbandingan mol secara berurutan 3:1:0,5 yang masing-masing disimpan di dalam tangki bahan baku sesuai dengan karakteristik bahan yang digunakan. Benzene dan asam klorida dipompa masuk ke dalam vaporizer untuk diuapkan. Selanjutnya dipanaskan dengan furnace sampai suhu 190°C. (US Patent, 4.306.104).

3.2.2. Tahap Reaksi

Tahap reaksi produksi fenol dari proses Raschig terdiri dari dua tahapan yaitu proses oksiklorinasi dan proses hidrolisis.

a) Proses Oksiklorinasi

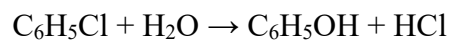
Pada proses ini terjadi perubahan benzena menjadi monoklorobenzena melalui asam klorida dan gas yang mengandung oksigen serta katalis dari tembaga klorida 2-8% . Reaksi klorinasi ini juga menghasilkan produk samping tertentu, termasuk diklorobenzena, triklorobenzena, tetraklorobenzena, dan senyawa organik lainnya. Proses ini berlangsung pada fase gas dan suhu yang tinggi yaitu 230°C. Reaksi pembentukan monoklorobenzene ini merupakan reaksi (eksotermis) dengan persamaan reaksi:



b) Proses Hidrolisis

Pada proses ini monoklorobenzene dihidrolisis dengan menggunakan katalis SiO_2 untuk menghasilkan fenol dan hydrogen klorida, produk lain yang terbentuk adalah sejumlah kecil benzene, klorofenol, dan produk samping tar yang mempunyai titik didih yang tinggi. Proses ini juga berlangsung pada suhu yang tinggi yaitu 430°C .

Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:



3.2.3. Tahap Pemurnian Produk

Produk hidrolisis cair kemudian dicampur dengan produk klorinasi cair untuk membentuk produk campuran yang memiliki dua kandungan senyawa, yaitu senyawa organik dan air yang kemudian dimasukkan kedalam separator untuk memisahkan HCl dari campurannya. Hasil atas separator menghasilkan HCl dan udara yang kemudian dipisahkan menggunakan absorber karena perbedaan fasenya, HCl yang dihasilkan kemudian dikembalikan ke proses klorinasi agar dapat digunakan kembali.

Kemudian, untuk menghilangkan air dan juga mendapatkan fenol murni perlu dilakukan penyulingan menggunakan Menara distilasi. Proses penyulingan ini dilakukan dalam dua kolom, dimana kolom pertama (MD-01) akan menghilangkan senyawa benzene dan kolom kedua (MD-02) akan menghilangkan air dan juga campuran senyawa organik lainnya sehingga akan mendapatkan produk fenol yang murni.

Uap benzene dari kolom pertama akan digunakan kembali pada tahap pertama yaitu klorinasi, sedangkan distilat dari kolom kedua yaitu monoklorobenzene akan dijual sebagai produk samping dari proses yang telah dilakukan.

3.3. Spesifikasi Alat

3.3.1. Spesifikasi Reaktor

a) Reaktor Oksiklorinasi (R-01)

Tugas : Mereaksikan benzene, asam klorida, dan air dengan katalisator CuCl_2 menjadi klorobenzene dan air dengan konversi 15%

Jenis : *Fixed Bed Reactor Catalytic*

Kondisi Operasi : $T = 190^\circ\text{C}$
 $P = 1,5 \text{ atm}$

Fasa : Gas

Bahan Konstruksi: Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316

Dimensi *Column*

Diameter : 1 m

Tinggi shell : 6,36 m

Tinggi Head : 2,17 m

Tebal Head : 0,0064 m

Tinggi total : 11 m

Jumlah : 1

Harga : \$ 80.875

Spesifikasi khusus, (National Library of Medicine)

- a. Jenis katalis : Tembaga (II) klorida
- b. Bentuk katalis : Butiran
- c. Ukuran katalis : 134,45 gram/mol
- d. Tinggi tumpukan : 6,36 m

b) Reaktor Hidrolisis (R-02)

Tugas : Mereaksikan klorobenzene dan air dengan katalisator SiO_2 menjadi fenol dan asam klorida dengan konversi 95%

Jenis : *Fixed Bed Reactor Catalytic*

Kondisi Operasi : $T = 430^\circ\text{C}$

$P = 1,5 \text{ atm}$

Fasa : Gas

Bahan Konstruksi: Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316

Dimensi *Column*

Diameter : 1 m

Tinggi shell : 6 m

Tinggi Head : 2,2 m

Tebal Shell : 0,0048 m

Tebal Head : 0,0053 m

Tinggi Total : 10 m

Jumlah : 1

Harga : \$ 33.800

Spesifikasi khusus, (National Library of Medicine)

e. Jenis katalis : Silikon dioksida

f. Bentuk katalis : Butiran dan stick

g. Ukuran katalis : 60,084 gram/mol

h. Tinggi tumpukan : 6 m

3.3.2. Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung

a) Separator (SP-03)

Fungsi : Memisahkan uap N_2 , O_2 , HCl dengan C_6H_6 , H_2O , C_7H_8 , C_3H_6CL , C_6H_5OH .

Jenis : Silinder vertikal

Material : Carbon Steel

Kondisi operasi

a. Suhu : $82^{\circ}C$

b. Tekanan : 1 atm

Dimensi

A (luas penampang) : $3,141 m^2$

Dt (diameter separator) : 2 m

HL (tinggi cairan) : 2,549 m

H (tinggi total) : 6 m

Harga : \$ 87.000

b) Menara Distilasi Benzene (MD-01)

Fungsi : Memisahkan benzene dari senyawa
campurannya

Jenis : Menara distilasi dengan *sieve tray*

Material : *Carbon Steel SA 283 Grade C*

Kondisi Operasi

a. Umpan

Tekanan : 1 atm

Suhu didih : 92,04°C

b. Distilat

Tekanan : 1 atm

Suhu didih : 80,31°C

c. Bottom

Tekanan : 1,05 atm

Suhu didih : 100,8°C

Spesifikasi Column

Diameter : 4 m

Tinggi Total : 29,6 m

Tebal *Shell* : 0,0048 m

Tebal *Head* : 0,0048 m

Tray

a. Jenis *tray* : *Sieve tray*

b. *Feed tray* : 6

- c. Jumlah *tray* : 44
- d. Susunan *hole* : *Triangular*
- e. Diameter *hole* : 0,0048 m
- f. *Tray spacing* : 0,6 m
- Jumlah : 1 buah
- Harga : \$ 290.500

c) Menara Distilasi Klorobenzene (MD-02)

- Fungsi : Memisahkan fenol dari senyawa campurannya
- Jenis : Menara distilasi dengan *sieve tray*
- Material : *Carbon Steel SA 283 Grade C*
- Kondisi Operasi
 - a. Umpan
 - Tekanan : 1 atm
 - Suhu didih : 100,82°C
 - b. Distilat
 - Tekanan : 1 atm
 - Suhu didih : 99,96°C
 - c. Bottom
 - Tekanan : 1 atm
 - Suhu didih : 180,63°C

Spesifikasi Column

| | |
|--------------------|------------|
| Diameter | : 2 m |
| Tinggi Total | : 24 m |
| Tebal <i>Shell</i> | : 0,0048 m |
| Tebal <i>Head</i> | : 0,0048 m |

Tray

| | |
|-------------------------|---------------------|
| a. Jenis tray | : <i>Sieve tray</i> |
| b. <i>Feed tray</i> | : 6 |
| c. Jumlah tray | : 34 |
| d. Susunan <i>hole</i> | : <i>Triangular</i> |
| e. Diameter <i>hole</i> | : 0,0048 m |
| f. <i>Tray spacing</i> | : 0,6 m |
| Jumlah | : 1 buah |
| Harga | : \$197.034 |

d) Absorber (ABS-01)

| | |
|-----------------|---|
| Fungsi | : Menyerap HCl hasil keluaran separator |
| Jenis | : <i>Packed Column</i> |
| Material | : <i>Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316</i> |
| Kondisi operasi | |
| a. Suhu | : 30°C |
| b. Tekanan | : 1 atm |

Dimensi

| | |
|---------|--------------|
| do | : 0,711 m |
| di | : 0,702 m |
| Ls | : 1,391 m |
| dl | : 0,051 m |
| Ll | : 0,051 m |
| Tha/thb | : 0,005 m |
| Ha/hb | : 2, 3 m |
| Ts | : 0,005 m |
| H | : 4,742 m |
| Harga | : \$ 204.800 |

Packing

- Tipe : *Raschig rings*
- Material : *Ceramic*
- Ukuran : 51 mm
- Bulk density* : 651 kg/m³
- Surface Area* : 95 m²/m³
- Packing Factor* (Fp): 210 m⁻¹

3.3.3. Spesifikasi Alat Penyimpan Bahan

a) Tangki Penyimpanan Asam Klorida (T-01)

Fungsi : Menyimpan kebutuhan bahan baku asam klorida (HCl)

Jumlah : 1 buah
Tipe : Tangki silinder tegak dengan dasar datar (*flat bottom*) dan bagian atas berbentuk *torispherical head*

Kondisi operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Harga : \$ 90.200

Spesifikasi

- a. *Material* : *Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316*
- b. Kapasitas : 2.651 ton
- c. Volume : 3.389 m³
- d. Diameter standar : 24,38 m
- e. *Course plate* : 26.860 ft
- f. Tebal shell : 0,0048 m
- g. Tinggi puncak *head* : 3,907 m
- h. Tebal *head* standar : 0,0048 m
- i. Tinggi total : 13 m

b) Tangki Penyimpanan Benzene (T-02)

Fungsi : Menyimpan kebutuhan bahan baku benzene (C₆H₆)

Jumlah : 1 buah

Tipe : Tangki silinder tegak dengan dasar data (*flat bottom*) dan bagian atas berbentuk *torispherical head*

Kondisi operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Harga : \$ 27.300

Spesifikasi

a. *Material* : *Carbon Steel SA-285 Grade C*

b. Kapasitas : 333,683 ton

c. Volume : 461 m³

d. Diameter standar : 7,62 m

e. *Course plate* : 3670 ft

f. Tebal shell : 0,0047 m

g. Tinggi puncak *head* : 1,999 m

h. Tebal *head* standar : 0,0064 m

i. Tinggi total : 4,437 m

c) Tangki Penyimpan Fenol (T-03)

Fungsi : Menyimpan kebutuhan bahan produk fenol (C₆H₅OH)

Jumlah : 1 buah

Tipe : Tangki silinder tegak dengan dasar data (*flat bottom*) dan bagian atas berbentuk *torispherical head*

Kondisi operasi

Suhu : 40°C

Tekanan : 1 atm

Harga : \$ 63.500

Spesifikasi

a. *Material* : *Carbon Steel SA-285 Grade C*

b. Kapasitas : 318 ton

c. Volume : 358 m³

d. Diameter standar : 10,668 m

e. *Course plate* : 5.100 ft

f. Tebal shell : 0,0048 m

g. Tinggi puncak *head*: 1,912 m

h. Tebal *head* standar : 0,0048 m

i. Tinggi total : 5,570 m

j. Diameter *jacket* : 10,67

k. Tebal *jacket* : 0,0254 m

l. Tinggi *jacket* : 5,01 m

3.3.1. Spesifikasi Alat Transportasi

a) Pompa (P-01)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Pompa (P-01)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|--|---------|-----------------|-------|----------------|
| Kode | P-01 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan asam klorida dan air dari tangki pengangkut menuju tangki penyimpanan (T-01) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Axial flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 251 | gal/min | | | |
| Kecepatan Aliran | 11 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 3,068 | in | 0,078 | m |
| | OD | 3,5 | in | 0,089 | m |
| | IPS | 5 | in | 0,076 | m |
| | Flow Area | 7,4 | in ² | 0,004 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 70% | | | | |
| Power Pompa | 0,17 | HP | 124 | Watt | |
| Power Motor | 0,17 | HP | 124 | Watt | |
| Harga | \$ 35.600 | | | | |

b) Pompa (P-02)

Tabel 3. 2 Spesifikasi Pompa (P-03)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|---|---------|--|--|--|
| Kode | P-02 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan benzena dari tangki pengangkut menuju tangki penyimpanan (T-02) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Axial flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 211 | gal/min | | | |
| Kecepatan Aliran | 9,171 | ft/s | | | |

| | | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-----------------|-------|----------------|
| Ukuran Pipa | ID | 3,068 | in | 0,078 | m |
| | OD | 3,5 | in | 0,089 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,076 | m |
| | Flow Area | 7,4 | in ² | 0,004 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 70% | | | | |
| benzene | 0,83 | HP | 615 | Watt | |
| Power Motor | 0,75 | HP | 559 | Watt | |
| Harga | \$ 9.700 | | | | |

c) Pompa (P-03)

Tabel 3. 3 Spesifikasi Pompa (P-03)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-03 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan asam klorida dan air dari tangki penyimpanan (T-01) menuju <i>vaporizer</i> (V-01) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller : | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah : | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi : | <i>Carbon Steel A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas : | 41 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik : | 0,092 | ft ³ /s | 0,00 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran : | 0,759 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 2,469 | in | 0,062 | m |
| | OD | 2,88 | in | 0,073 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,076 | m |
| | Flow Area | 4,79 | in ² | 0,003 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 62% | | | | |
| Power Pompa | 0,289 | HP | 215 | Watt | |
| Power Motor | 0,33 | HP | 294 | Watt | |
| Harga | \$ 6.300 | | | | |

d) Pompa (P-04)

Tabel 3. 4 Spesifikasi Pompa (P-04)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-04 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan 43enzene dari Tangki Penyimpanan (T-02) menuju <i>vaporizer</i> (V-02) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 95 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,211 | ft ³ /s | 0,005 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 4,122 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 3,068 | in | 0,078 | m |
| | OD | 3,5 | in | 0,089 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,076 | m |
| | Flow Area | 7,38 | in ² | 0,004 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 62% | | | | |
| Power Pompa | 0,708 | HP | 529 | Watt | |
| Power Motor | 0,75 | HP | 559 | Watt | |
| Harga | \$ 9.500 | | | | |

e) Pompa (P-05)

Tabel 3. 5 Spesifikasi Pompa (P-05)

| Kesimpulan | | | | | |
|-------------------|--|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-05 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan komponen dari separator (SP-01) menuju pemanas (HE-04) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 500 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 1,115 | ft ³ /s | 0,015 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 3,459 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 4,026 | in | 0,102 | m |
| | OD | 4,5 | in | 0,114 | m |
| | IPS | 4 | in | 0,101 | m |
| | Flow Area | 12,70 | in ² | 0,008 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 82% | | | | |
| Power Pompa | 1,45 | HP | 1084 | Watt | |
| Power Motor | 1,5 | HP | 1.118 | Watt | |
| Harga | \$ 7.500 | | | | |

f) Pompa (P-06)

Tabel 3. 6 Spesifikasi Pompa (P-06)

| Kesimpulan | | | | | |
|------------|--|------|--|--|--|
| Kode | P-06 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan komponen dari absorber (ABS-01) menuju separator (sp-01) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |

| | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Stell A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 44 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,098 | ft ³ /s | 0,0028 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 0,809 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 2,469 | in | 0,062 | m |
| | OD | 2,88 | in | 0,073 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,063 | m |
| | Flow Area | 4,79 | in ² | 0,003 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 58% | | | | |
| Power Pompa | 0,329 | HP | 245 | Watt | |
| Power Motor | 0,33 | HP | 248 | Watt | |
| Harga | \$ 8.800 | | | | |

g) Pompa (P-07)

Tabel 3. 7 Spesifikasi Pompa (P-07)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-07 | | | | |
| Fungsi | Pompa untuk mengalirkan komponen dari akumulator (AC-01) menuju pendingin (CL-02) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Axial low impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 320 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,712 | ft ³ /s | 0,02 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 3,550 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 6,065 | in | 0,514 | m |
| | OD | 6,625 | in | 0,168 | m |
| | IPS | 6 | in | 0,152 | m |
| | Flow Area | 28,9 | in ² | 0,019 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 80% | | | | |
| Power Pompa | 1,49 | HP | 1109 | Watt | |
| Power Motor | 2 | HP | 1491 | Watt | |
| Harga | \$ 7.700 | | | | |

h) Pompa (P-08)

Tabel 3. 8 Spesifikasi Pompa (P-08)

| Kesimpulan | | | | | |
|-------------------|---|------|--|--|--|
| Kode | P-08 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan komponen dari <i>reboiler</i> (RB-01) menuju menara distilasi (MD-02) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |

| | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 33 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,073 | ft ³ /s | 0,002 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 3,160 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 2,067 | in | 0,052 | m |
| | OD | 2,38 | in | 0,060 | m |
| | IPS | 2 | in | 0,050 | m |
| | Flow Area | 3,35 | in ² | 0,002 | m ² |
| Efisiensi pompa | 23% | | | | |
| Power Pompa | 0,632 | HP | 470 | Watt | |
| Power Motor | 0,75 | HP | 559 | Watt | |
| Harga | \$ 6.780 | | | | |

i) Pompa (P-09)

Tabel 3. 9 Spesifikasi Pompa (P-09)

| | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kesimpulan | | | | | |
| Kode | P-09 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan komponen dari akumulator (AC-02) menuju pendingin (CL-01) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Steel A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 36,642 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,082 | ft ³ /s | 0,002 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 3,510 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 2,067 | in | 0,053 | m |
| | OD | 2,375 | in | 0,060 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,064 | m |
| | Flow Area | 3,35 | in ² | 0,002 | m ² |

| | | | | | |
|-----------------|----------|----|-----|------|--|
| Efisiensi Pompa | 56% | | | | |
| Power Pompa | 0,289 | HP | 215 | Watt | |
| Power Motor | 0,33 | HP | 248 | Watt | |
| Harga | \$ 6.600 | | | | |

j) Pompa (P-10)

Tabel 3. 10 Spesifikasi Pompa (P-10)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-10 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan komponen dari <i>reboiler</i> (RB-02) menuju <i>silo</i> (Silo-01) | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Radial Flow Impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Stell A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 5,024 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,001 | ft ³ /s | 0,0003 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 5,303 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 0,622 | in | 0,015 | m |
| | OD | 0,84 | in | 0,021 | m |
| | IPS | 1 | in | 0,012 | m |
| | Flow Area | 0,30 | in ² | 0,0002 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 20% | | | | |
| Power Pompa | 0,143 | HP | 106 | Watt | |
| Power Motor | 0,17 | HP | 124 | Watt | |
| Harga | \$ 8.100 | | | | |

k) Pompa (P-11)

Tabel 3. 11 Spesifikasi Pompa (P-11)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-11 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan komponen dari tangki penyimpanan air dan klorobenzena (T-03) menuju tangki pengangkut | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Radial Flow Impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 | buah | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Stell A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 4,418 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,01 | ft ³ /s | 0,0005 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 4,663 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 0,622 | in | 0,016 | m |
| | OD | 0,833 | in | 0,021 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,064 | m |
| | Flow Area | 0,30 | in ² | 0,000 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 20% | | | | |
| Power Pompa | 0,14 | HP | 104 | Watt | |
| Power Motor | 0,17 | HP | 124 | Watt | |
| Harga | \$ 9.120 | | | | |

l) Pompa (P-12)

Tabel 3. 12 Spesifikasi Pompa (P-12)

| Kesimpulan | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Kode | P-12 | | | | |
| Fungsi | Mengalirkan benzena dari tangki penyimpanan (T-04) menuju tangki pengangkut | | | | |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | | | | |
| Impeller | <i>Mixed flow impellers</i> | | | | |
| Jumlah | 1 unit | | | | |
| Bahan Konstruksi | <i>Carbon Stell A-283 Grade C</i> | | | | |
| Spesifikasi Pompa | | | | | |
| Kapasitas | 89,4164 | gal/min | | | |
| Rate Volumetrik | 0,199 | ft ³ /s | 0,005 | m ³ /s | |
| Kecepatan Aliran | 3,89 | ft/s | | | |
| Ukuran Pipa | ID | 3,068 | in | 0,078 | m |
| | OD | 3,5 | in | 0,089 | m |
| | IPS | 3 | in | 0,076 | m |
| | Flow Area | 7,38 | in ² | 0,004 | m ² |
| Efisiensi Pompa | 50% | | | | |
| Power Pompa | 0,73 | HP | 130 | Watt | |
| Power Motor | 1 | HP | 186 | Watt | |
| Harga | \$ 9.120 | | | | |

3.3.4. Spesifikasi Alat Penukar Panas

a) Vaporizer (V-01)

Tabel 3. 13 Spesifikasi Vaporizer (V-01)

| Vaporizer (V-01) | |
|-------------------------|--|
| Kode | V-01 |
| Fungsi | Menguapkan bahan baku asam klorida cair menjadi asam klorida uap |
| Jenis Alat Pompa | <i>Shell and Tube Heat Exchanger 1-2</i> |

| | | | | |
|--|---|---------------------------|-----------|----|
| Jenis Bahan | <i>Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316</i> | | | |
| Spesifikasi | | | | |
| a" | 0,7500 | in ² | | |
| Pt | 0,9375 | <i>Triangular</i> | | m |
| Passes | 2 | Pa | | |
| ΔPs | 3,6706 | | | |
| At | 10,3521 | m ² | | |
| Uc | 280,4400 | Btu/hr.ft ² .F | | |
| Ud | 75,9913 | Btu/hr.ft ² .F | | |
| Rd | 0,7698 | s.m ² .K/kJ | | |
| T1 | 42,1424 | C | 315,14244 | K |
| T2 | 94,4383 | C | 367,43826 | K |
| Tekanan | 1 | atm | | |
| Cold Fluid: Shell, Produk (Benzene) | | | | |
| Aliran Fluida | Cold Fluid | | | |
| IDs | 0,6604 | m | | in |
| Pitch | 0,0238 | m | | in |
| ho | 6,50 | kJ/m ² .s.K | | |
| Hot Fluid: Tube, Steam | | | | |
| Aliran Fluida | Hot Fluid | | | |
| Nt | 555 | buah | | |
| L | 6 | ft | | m |
| OD | 0,75 | in | | m |
| ID | 0,58 | in | | m |
| BWG | 14 | | | |
| ΔPt | 98,6674 | psi | | |
| Harga | \$ 90.500 | | | |

b) Vaporizer (V-02)

Tabel 3. 14 Spesifikasi Vaporizer (V-02)

| | |
|-------------------------|--|
| Vaporizer (V-02) | |
| Kode | V-02 |
| Fungsi | Menguapkan bahan baku Benzene cair menjadi Benzene uap |
| Jenis Alat Pompa | <i>Shell and Tube Heat Exchanger 1-2</i> |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> |

| Spesifikasi | | | | |
|--|------------|---------------------------|----------|----|
| a" | 0,7500 | in ² | | |
| Pt | 0,9375 | <i>Triangular</i> | | m |
| Passes | 2 | Pa | | |
| ΔPs | 39,0229 | | | |
| At | 10,1168 | m ² | | |
| Uc | 179,3719 | Btu/hr.ft ² .F | | |
| Ud | 43,9630 | Btu/hr.ft ² .F | | |
| Rd | 1,3069 | s.m ² .K/kJ | | |
| T1 | 40,2884 | C | 313,2884 | K |
| T2 | 80,2066 | C | 353,2066 | K |
| Tekanan | 1 | atm | | |
| Cold Fluid: Shell, Produk (Benzene) | | | | |
| Aliran Fluida | Cold Fluid | | | |
| IDs | 0,6096 | m | | in |
| Pitch | 0,0238 | m | | in |
| ho | 3,26 | kJ/m ² .s.K | | |
| Hot Fluid: Tube, Steam | | | | |
| Aliran Fluida | Hot Fluid | | | |
| Nt | 458 | buah | | |
| L | 6 | ft | | m |
| OD | 0,75 | in | | m |
| ID | 0,58 | in | | m |
| BWG | 14 | | | |
| ΔPt | 400 | psi | | |
| Harga | \$ 79.200 | | | |

c) Separator (sp-01)

Tabel 3. 15 Spesifikasi Separator (SP-01)

| Separator (sp-01) | | |
|--------------------------|---|------|
| Kode | sp-01 | |
| Fungsi | Memisahkan HCl uap dan HCl cair dari Vaporizer (V-01) | |
| Jenis Alat | Vertikal kncok out drum | |
| Jumlah | 1 unit | unit |
| Kondisi Operasi | | |
| Tekanan | 1 | atm |

| | | |
|--------------------------------|---|-------|
| Suhu | 94,438 | °C |
| Konstruksi dan material | | |
| Bahan | <i>Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316</i> | |
| Tinggi separator | 3 | m |
| Diameter separator | 1 | m |
| Waktu tinggal | 5 | menit |
| Harga | \$ 155.200 | |

d) Separator (sp-02)

Tabel 3. 16 Spesifikasi Separator (sp-02)

| | | |
|--------------------------------|---|-------|
| Separator (sp-02) | | |
| Kode | sp-02 | |
| Fungsi | Memisahkan C ₆ H ₆ uap dan C ₆ H ₆ cair dari Vaporizer (V-02) | |
| Jenis Alat | Vertikal kncok out drum | |
| Jumlah | 1 unit | unit |
| Kondisi Operasi | | |
| Tekanan | 1 | atm |
| Suhu | 80.2 | °C |
| Konstruksi dan material | | |
| Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | |
| Tinggi separator | 6 | m |
| Diameter separator | 2 | m |
| Waktu tinggal | 5 | menit |
| Harga | \$ 71.900 | |

e) Heater (HE-01)

Tabel 3. 17 Spesifikasi Heater (HE-01)

| | | |
|--|---|------|
| Heater (HE-01) | | |
| Kode | H-01 | |
| Fungsi | Memanaskan udara yang berasal dari kompresor (K-01) | |
| Jenis Pompa | <i>Double Pipe Heat Exchanger</i> | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | |
| Jumlah Hairpin | 13 | buah |
| Cold Fluid: Annulus, Produk (gases) | | |

| | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------------------------|
| IPS | 2 | in |
| Sch. No | 40 | |
| <i>Flow Area</i> | 1,19 | in ² |
| OD | 2,38 | in |
| ID | 2,067 | in |
| <i>Surface Area</i> | 0,622 | ft ² /ft |
| Hot Fluid: Inner Pipe (Steam) | | |
| IPS | 1,25 | in |
| Sch. No | 40 | |
| <i>Flow Area</i> | 1,5 | in ² |
| OD | 1,660 | in |
| ID | 1,380 | in |
| <i>Surface Area</i> | 0,435 | ft ² /ft |
| A | 121,29 | ft ² |
| Ud | 26,8592 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Uc | 2,2756 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Rd | 0,4022 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Rd min | 0,001 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Jumlah Alat | 1 | Unit |
| Harga | \$ 25.500 | |

f) Heater (HE-02)

Tabel 3. 18 Spesifikasi Heater (HE-02)

| Heater (HE-02) | | |
|--|--|---------------------|
| Kode | H-02 | |
| Fungsi | Memanaskan gas HCl yang berasal dari Separator (SP-01) | |
| Jenis Pompa | <i>Double Pipe Heat Exchanger</i> | |
| Jenis Bahan | <i>Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316</i> | |
| Jumlah Hairpin | 13 | buah |
| Cold Fluid: Annulus, Prosuk (Gases) | | |
| IPS | 2 | in |
| Sch. No | 40 | |
| <i>Flow Area</i> | 1,19 | in ² |
| OD | 2,38 | in |
| ID | 2,067 | in |
| <i>Surface Area</i> | 0,622 | ft ² /ft |

| Hot Fluid: Inner Pipe (Steam) | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------------------------|
| IPS | 1,25 | in |
| Sch. No | 40 | |
| Flow Area | 1,5 | in ² |
| OD | 1,660 | in |
| ID | 1,380 | in |
| Surface Area | 0,435 | ft ² /ft |
| A | 121,29 | ft ² |
| Ud | 11,1292 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Uc | 1,2254 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Rd | 0,7262 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Rd min | 0,001 | Btu/jam.ft ² .°F |
| Jumlah Alat | 1 | Unit |
| Harga | \$ 27.500 | |

g) Heater (HE-03)

Tabel 3. 19 Spesifikasi Heater (HE-03)

| Heater (HE-03) | | | | |
|------------------------|--|------------------------|--------|----------------|
| Kode | H-03 | | | |
| Fungsi | Memanaskan gas Benzene yang berasal dari Separator (SP-02) | | | |
| Jenis Pompa | <i>Shell and Tube</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | | | |
| Jumlah Hairpin | 83 | | | buah |
| Spesifikasi | | | | |
| A | | ft ² | 9,6315 | m ² |
| Ud | 0,1820 | kJ/ m ² s K | | |
| Uc | 7,5427 | kJ/ m ² s K | | |
| Rd | 5,3613 | m ² s K/ kJ | | |
| Rd min | 0,529 | m ² s K/ kJ | | |
| L | 1,8288 | m | | |
| Hot Fluid: Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0,3556 | m |
| IDt | 0,58 | in | 0,0147 | m |
| ODt | 0,75 | in | 0,0190 | m |
| nt | 88 | buah | | |
| a" | 0,0598 | m ² | | |

| | | | | |
|--------------------------|-----------|------------------------|--------|---|
| <i>Passes</i> | 4 | in | | |
| hio | 8,5065 | kJ/ m ² s K | | |
| Cold Fluid: Shell | | | | |
| IDs | 12 | in | 0,3048 | m |
| <i>Pitch</i> | 15/16 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 4 | in | 0,1016 | m |
| ho | 66,57 | kJ/ m ² s K | | |
| Harga | \$ 26.100 | | | |

h) Heater (HE-04)

Tabel 3. 20 Spesifikasi Heater (HE-04)

| | | | | |
|--------------------------|--|------------------------|----------|----------------|
| Heater (HE-04) | | | | |
| Kode | H-04 | | | |
| Fungsi | Memanaskan umpan R-02 dari R-01 dengan media superheated steam | | | |
| Jenis Pompa | <i>Shell and Tube</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Jumlah Hairpin | 3476 | | | buah |
| Spesifikasi | | | | |
| A | | ft ² | 760,8881 | m ² |
| Ud | 0,0090 | kJ/ m ² s K | | |
| Uc | 0,1671 | kJ/ m ² s K | | |
| Rd | 104,6899 | m ² s K/ kJ | | |
| Rd min | 0,529 | m ² s K/ kJ | | |
| L | 3,6576 | m | | |
| Hot Fluid: Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0,3556 | m |
| IDt | 0,58 | in | 0,0147 | m |
| ODt | 0,75 | in | 0,0190 | m |
| nt | 3476 | buah | | |
| a" | 0,0598 | m ² | | |
| <i>Passes</i> | 2 | in | | |
| hio | 0,1671 | kJ/ m ² s K | | |
| Cold Fluid: Shell | | | | |
| IDs | 60 | in | 1,524 | m |
| <i>Pitch</i> | 15/16 | in | 0,0238 | m |

| | | | | |
|---------------|------------|------------------------------|--------|---|
| <i>Passes</i> | 2 | in | 0,0508 | m |
| ho | 51,51 | $\text{kJ/ m}^2 \text{ s K}$ | | |
| Harga | \$ 289.200 | | | |

i) Heater (HE-05)

Tabel 3. 21 Spesifikasi Heater (HE-05)

| Heater (HE-05) | | | | |
|--------------------------|--|------------------------------|--------|--------------|
| Kode | H-05 | | | |
| Fungsi | Memanaskan umpan MD-01 dari SP-03 dengan media steam | | | |
| Jenis Pompa | <i>Shell and Tube</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Jumlah Hairpin | 125 | | | buah |
| Spesifikasi | | | | |
| A | | ft^2 | 14,228 | m^2 |
| Ud | 0,9720 | $\text{kJ/ m}^2 \text{ s K}$ | | |
| Uc | 8,2822 | $\text{kJ/ m}^2 \text{ s K}$ | | |
| Rd | 0,9080 | $\text{m}^2 \text{ s K/ kJ}$ | | |
| Rd min | 0,529 | $\text{m}^2 \text{ s K/ kJ}$ | | |
| L | 1,8288 | m | | |
| Hot Fluid: Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0,3556 | m |
| IDt | 0,58 | in | 0,0147 | m |
| ODt | 0,75 | in | 0,0190 | m |
| nt | 130 | buah | | |
| a" | 0,0598 | m^2 | | |
| <i>Passes</i> | 1 | in | | |
| hio | 8,5065 | $\text{kJ/ m}^2 \text{ s K}$ | | |
| Cold Fluid: Shell | | | | |
| IDs | 14 | in | 0,3556 | m |
| <i>Pitch</i> | 15/16 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 1 | in | 0,0508 | m |
| ho | 314,16 | $\text{kJ/ m}^2 \text{ s K}$ | | |
| Harga | \$ 27.500 | | | |

j) **Condensor parsial (CDP-01)**

Tabel 3. 22 Spesifikasi Condensor Parsial (CDP-01)

| KESIMPULAN | | | | |
|----------------------------------|---|-------------------------|--------|---|
| Kode | CDP-01 | | | |
| Fungsi | Untuk mengembunkan gas nitrogen, oksigen, air, asam klorida, benzen, klorobenzen, dan fenol | | | |
| Jumlah | 1 Unit | | | |
| Tipe | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| T1 | 196,85 | C | 470 | K |
| T2 | 82 | C | 355 | K |
| P | 1,5 | atm | | |
| a" | 0,06 | m ² | | |
| A | 32,19 | m ² | | |
| Ud | 0,13 | kJ / m ² s K | | |
| Uc | 0,39 | kJ / m ² s K | | |
| Rd | 5,24 | m ² s K / kJ | | |
| Rd min | 0,88 | m ² s K / kJ | | |
| Cold Fluid : Tube (Water) | | | | |
| BWG | 14 | in | 0,36 | m |
| IDt | 0,58 | in | 0,02 | m |
| ODt | 0,75 | in | 0,02 | m |
| at | 0,056 | m ² | | |
| hio | 7,64 | kJ / m ² s K | | |
| <i>Passes</i> | 2 | in | | |
| Nt | 147 | Buah | | |
| Pt | <i>3/4 in pada 15 /16 in triangular pitch</i> | | | |
| L | 3,7 | m | | |
| Hot Fluid : Shell (Gases) | | | | |
| IDs | 28 | in | 0,41 | m |
| ho | 0,34 | kJ / m ² s K | | |
| as | 0,1 | m ² | | |
| <i>Passes</i> | 2 | in | 0,0508 | m |
| Harga | \$ 26.300 | | | |

k) Condensor (CD-01)

Tabel 3. 23 Spesifikasi Condensor (CD-01)

| | | | | |
|--------------------------|---|-------------------------|--------|----------------|
| Kode | CD-01 | | | |
| Fungsi | Untuk mengembunkan hasil keluaran atas Menara Distilasi Benzene (MD-01) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Tipe | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi | | | | |
| A | 1.533 | ft ² | 142 | m ² |
| Ud | 0,8524 | kJ / m ² s K | | |
| Uc | 20,3552 | kJ / m ² s K | | |
| Rd | 1,1240 | m ² s K/ Kj | | |
| Rd min | 0,8818 | m ² s K/ Kj | | |
| L | 3,6576 | m | | |
| Cold Fluid : Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0,3556 | m |
| IDt | 0,5840 | in | 0,0148 | m |
| ODt | 0,7500 | in | 0,0191 | m |
| nt | 649 | buah | | |
| a" | 0,0598 | m ² | | |
| hio | 17.947 | kJ / m ² s K | | |
| Hot Fluid : Shell | | | | |
| IDs | 28 | in | 0,7112 | m |
| <i>Pitch</i> | 0,9375 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 1 | in | 0,0254 | m |
| ho | 20,3783 | kJ / m ² s K | | |
| Harga | \$ 47.850 | | | |

l) Condensor (CD-02)

Tabel 3. 24 Spesifikasi Condensor (CD-02)

| | | | | |
|--------|--|--|--|--|
| Kode | CD-02 | | | |
| Fungsi | Untuk mengembunkan hasil keluaran atas Menara Distilasi Klorobenzene (MD-02) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Tipe | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |

| | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------|----------------|
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi | | | | |
| A | 758,483 | ft ² | 70,4654 | m ² |
| Ud | 0,7773 | kJ / m ² s K | | |
| Uc | 6,7074 | kJ / m ² s K | | |
| Rd | 1,1373 | m ² s K/ Kj | | |
| Rd min | 0,8818 | m ² s K/ Kj | | |
| L | 3,6576 | m | | |
| Cold Fluid : Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0,3556 | m |
| IDt | 0,5840 | in | 0,0148 | m |
| ODt | 0,7500 | in | 0,0191 | m |
| nt | 352 | buah | | |
| a" | 0,0598 | m ² | | |
| hio | 76.360 | kJ / m ² s K | | |
| Hot Fluid : Shell | | | | |
| IDs | 22 | in | 0,5588 | m |
| Pitch | 0.9375 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 4 | in | 0,1016 | m |
| ho | 6.7079 | kJ / m ² s K | | |
| Harga | \$ 26.680 | | | |

m) Accumulator (AC-01)

Tabel 3. 25 Spesifikasi Accumulator (AC-01)

| Accumulator (AC-01) | | | | |
|----------------------------|--|-----------------------|---------|----------------|
| Kode | ACC-01 | | | |
| Fungsi | Untuk menampung keluaran Kondensor (CD-01) pada Menara Distilasi Benzene (MD-01) | | | |
| Jenis | <i>Horizontal cylinder</i> | | | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon Steel Grade SA-283 C</i> | | | |
| Jumlah | 1 Unit | | | |
| Volume Embun | 0,16 | m ³ /menit | | |
| Kapasitas tangki | 427,4541 | ft ³ | 12,1041 | m ³ |
| Diameter tangki | 6,5620 | ft | 2 | m |
| Panjang tangki | 236,2206 | in | 6 | m |
| Kondisi operasi | T = | 80.46 | C | |
| | P = | 1.0 | atm | |
| Harga | \$ 49.870 | | | |

n) Accumulator (AC-02)

Tabel 3. 26 Spesifikasi Accumulator (AC-02)

| Accumulator (AC-02) | | | | |
|----------------------------|---|-----------------------|--------|----------------|
| Kode | ACC-02 | | | |
| Fungsi | Untuk menampung keluaran Kondensor (CD-02) pada Menara Distilasi Klorobenzene (MD-02) | | | |
| Jenis | <i>Horizontal cylinder</i> | | | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon Steel Grade SA-283 C</i> | | | |
| Jumlah | 1 Unit | | | |
| Volume Embun | 0,16 | m ³ /menit | | |
| Kapasitas tangki | 49,0347 | ft ³ | 1,3885 | m ³ |
| Diameter tangki | 3,2810 | ft | 1 | m |
| Panjang tangki | 118,1103 | in | 3 | m |
| Kondisi operasi | T = | 100.11 | C | |
| | P = | 1.0 | atm | |
| Harga | \$ 29.900 | | | |

o) Cooler (CL-01)

Tabel 3. 27 Spesifikasi Cooler (CL-01)

| | | | | |
|--------------------------|--|-------------------------|--------|---|
| Kode | CL-01 | | | |
| Fungsi | Mendinginkan klorobenzen dan air hasil atas menara distilasi (MD-02) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Type | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi : | | | | |
| A | 32,416 | m ² | | |
| Ud | 0,5671 | kJ / m ² s K | | |
| Uc | 45 | kJ / m ² s K | | |
| Rd | 1,7357 | m ² s K/ Kj | | |
| Rd min | 0,882 | m ² s K/ Kj | | |
| L | 4,877 | m | | |
| Cold Fluid : Tube | | | | |
| BWG | 14 | | | |
| IDt | 2,0670 | in | 0,1085 | m |
| ODt | 2,3800 | in | 0,0605 | m |
| nt | 8 | buah | | |
| hio | 45,1309 | kJ / m ² s K | | |
| a" | 0,0422 | m ² | | |
| Hot Fluid : Shell | | | | |
| IDs | 1 | in | 0,0351 | m |
| <i>Pitch</i> | 0,938 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 1 | | | |
| ho | 299.150 | kJ / m ² s K | | |
| Harga | \$ 28.770 | | | |

p) Cooler (CL-02)

Tabel 3. 28 Spesifikasi Cooler (CL-02)

| | | | | |
|--------------------------|---|-------------------------|--------|---|
| Kode | CL-02 | | | |
| Fungsi | Mendinginkan fenool dari hasil bawah menara distilasi (MD-02) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Tipe | <i>Pipa Ganda Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi : | | | | |
| A | 3,473 | m ² | | |
| Ud | 0,567 | kJ / m ² s K | | |
| Uc | 14 | kJ / m ² s K | | |
| Rd | 1,694 | m ² s K/ Kj | | |
| Rd min | 0,882 | m ² s K/ Kj | | |
| L | 3,658 | m | | |
| Cold Fluid : Tube | | | | |
| BWG | 14 | | | |
| IDt | 2,0670 | in | 0,1085 | m |
| ODt | 2,3800 | in | 0,0605 | m |
| nt | 8 | buah | | |
| hio | 14,4963 | kJ / m ² s K | | |
| a" | 0,0422 | m ² | | |
| Hot Fluid : Shell | | | | |
| IDs | 1 | in | 0,0351 | m |
| <i>Pitch</i> | 0,938 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 2 | | | |
| ho | 885.952 | kJ / m ² s K | | |
| Harga | \$ 21.600 | | | |

q) Cooler (CL-03)

Tabel 3. 29 Spesifikasi Cooler (CL-03)

| | | | | |
|--------------------------|--|-------------------------|--------|---|
| Kode | CL-03 | | | |
| Fungsi | Mendinginkan fenol dari Reboiler (RB-02) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Type | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi : | | | | |
| A | 254,700 | m ² | | |
| Ud | 0,567 | kJ / m ² s K | | |
| Uc | 347 | kJ / m ² s K | | |
| Rd | 1,7607 | m ² s K/ Kj | | |
| Rd min | 0,882 | m ² s K/ Kj | | |
| L | 2,438 | m | | |
| Cold Fluid : Tube | | | | |
| BWG | 14 | | | |
| IDt | 2,0670 | in | 0,1085 | m |
| ODt | 2,3800 | in | 0,0605 | m |
| nt | 28 | buah | | |
| hio | 374,0413 | kJ / m ² s K | | |
| a" | 0,0422 | m ² | | |
| Hot Fluid : Shell | | | | |
| IDs | 1 | in | 0,0351 | m |
| <i>Pitch</i> | 0,938 | in | 0,0238 | m |
| <i>Passes</i> | 1 | | | |
| ho | 854.771 | kJ / m ² s K | | |
| Harga | \$ 25.500 | | | |

r) Reboiler (RB-01)

Tabel 3. 30 Spesifikasi Reboiler (RB-01)

| Reboiler (RB-01) | | | | |
|--------------------------|--|------------------------|---------|----------------|
| Kode | RB-01 | | | |
| Fungsi | Untuk mengembunkan hasil keluaran bawah Menara Distilasi (MD-01) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Tipe | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi | | | | |
| A | | ft ² | 94.5638 | m ² |
| Ud | 0,0311 | kJ/ m ² s K | | |
| Uc | 7,0997 | kJ/ m ² s K | | |
| Rd | 31,9739 | m ² s K/ kJ | | |
| Rd min | 0,5290 | m ² s K/ kJ | | |
| L | 3.6576 | m | | |
| Hot Fluid: Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0.3556 | m |
| IDt | 0.5800 | in | 0.0147 | m |
| ODt | 0.7500 | in | 0.0191 | m |
| nt | 432 | buah | | |
| a" | 0.0598 | m ² | | |
| <i>Passes</i> | 4 | in | | |
| hio | 8.5065 | kJ/ m ² s K | | |
| Cold Fluid: Shell | | | | |
| IDs | 24 | in | 0.6096 | m |
| <i>Pitch</i> | 15/16 | in | 0.0238 | m |
| <i>Passes</i> | 4 | in | 0.1016 | m |
| ho | 42.93 | kJ/ m ² s K | | |
| Harga | \$ 33.800 | | | |

s) **Reboiler (RB-02)**

Tabel 3. 31 Spesifikasi Reboiler (RB-02)

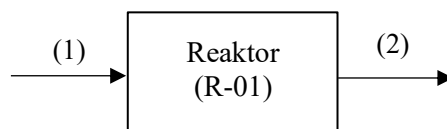
| Reboiler (RB-02) | | | | |
|--------------------------|--|------------------------|----------|----------------|
| Kode | RB-02 | | | |
| Fungsi | Untuk mengembunkan hasil keluaran bawah Menara Distilasi (MD-02) | | | |
| Jumlah | 1 alat | | | |
| Tipe | <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> | | | |
| Jenis Bahan | <i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i> | | | |
| Spesifikasi | | | | |
| A | | ft ² | 217.5842 | m ² |
| Ud | 0.0498 | kJ/ m ² s K | | |
| Uc | 8.3394 | kJ/ m ² s K | | |
| Rd | 19,9462 | m ² s K/ kJ | | |
| Rd min | 0.5290 | m ² s K/ kJ | | |
| L | 3.6576 | m | | |
| Hot Fluid: Tube | | | | |
| BWG | 14 | in | 0.3556 | m |
| IDt | 0.58 | in | 0.0147 | m |
| ODt | 0.75 | in | 0.0191 | m |
| nt | 994 | buah | | |
| a" | 0.0598 | m ² | | |
| <i>Passes</i> | 1 | in | | |
| hio | 8.5065 | kJ/ m ² s K | | |
| Cold Fluid: Shell | | | | |
| IDs | 34 | in | 0.8636 | m |
| <i>Pitch</i> | 15/16 | in | 0.0238 | m |
| <i>Passes</i> | 1 | in | 0.0254 | m |
| ho | 424.41 | kJ/ m ² s K | | |
| Harga | \$ 47.500 | | | |

3.4. Neraca Massa

Basis satuan massa yang digunakan adalah kg/jam. Berikut adalah analisis neraca massa total

- Basis perhitungan : 1 jam operasi
- Bahan baku : Asam klorida, Benzene, dan Udara
- Produk akhir : Fenol
- Kemurnian fenol : 99%
- Kapasitas pertahun : 7.000 ton/tahun
- Waktu operasi : 330 hari
: 24 jam
- Kapasitas tiap jam : 884 kg/jam
- Basis operasi : 7363 kg/mol HCl

3.4.1. Fix Bed Reaktor (R-01)



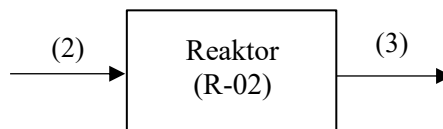
Gambar 3. 3 Arus di Sekitar Reaktor (R-01)

Tabel 3. 32 Neraca Massa Reaktor (R-01)

| Komponen | Input, kg/jam | Output, kg/jam |
|--------------|---------------|----------------|
| | 1 (gas) | 2 (gas) |
| Nitrogen | 10518 | 10518 |
| Oksigen | 3195 | 3036 |
| Asam Klorida | 2430 | 2065 |
| Benzene | 15578 | 14799 |

| Komponen | Input, kg/jam | Output, kg/jam |
|--------------|------------------|-------------------|
| | 1 (gas) | 2 (gas) |
| Air | 4933 | 5113 |
| Klorobenzene | 0 | 1123 |
| Total | 36655 | 36655 |

3.4.2. Fix Bed Reaktor (R-02)

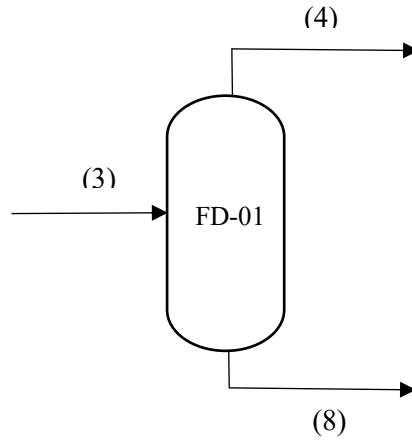


Gambar 3. 4 Arus di Sekitar Reaktor (R-02)

Tabel 3. 33 Neraca Massa Reaktor (R-01)

| Komponen | Input, kg/jam | Output, kg/jam |
|--------------|---------------|----------------|
| | 2 (gas) | 3 (gas) |
| Nitrogen | 10518 | 10518 |
| Oksigen | 3036 | 3036 |
| Asam Klorida | 2065 | 2412 |
| Benzene | 14799 | 14799 |
| Air | 5113 | 4942 |
| Klorobenzene | 1123 | 56 |
| Fenol | 0 | 892 |
| Total | 36655 | 36655 |

3.4.3. Flash Drum (FD-01)

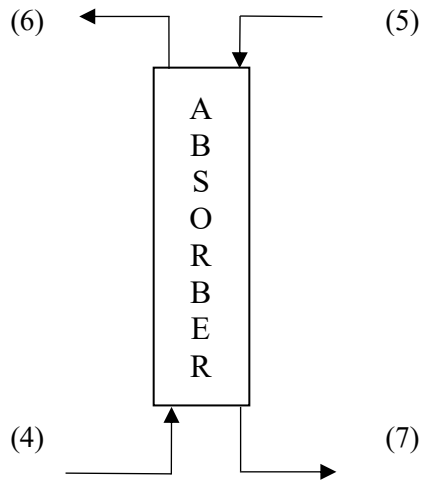


Gambar 3. 5 Arus di Separator (FD-01)

Tabel 3. 34 Neraca Massa Separator (FD-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|--------------|-------------------|-----------------|--------------|
| | | Uap | Cair |
| | 3 (gas) | 4 (gas) | 8 (cair) |
| Nitrogen | 10518 | 10518 | 0 |
| Oksigen | 3036 | 3036 | 0 |
| Asam Klorida | 2412 | 2412 | 0 |
| Benzene | 14799 | 0 | 14799 |
| Air | 4942 | 0 | 4942 |
| Klorobenzene | 56 | 0 | 56 |
| Fenol | 892 | 0 | 892 |
| Total | | 15966 | 20689 |
| | 36655 | 36655 | |

3.4.4. Absorber (ABS-01)

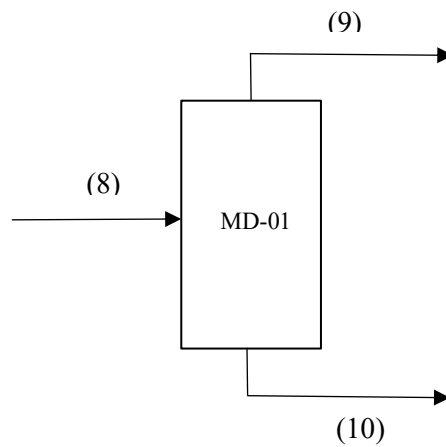


Gambar 3. 6 Arus di Absorberr (ABS-01)

Tabel 3. 35 Neraca Massa Absorber (ABS-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|-------------------|-------------------|-----------------|----------|
| | | Uap | Cair |
| | 4 (gas) | 6 (gas) | 7 (cair) |
| Nitrogen | 10518 | 10518 | 0 |
| Oksigen | 3036 | 3036 | 0 |
| Asam Klorida | 2412 | 72 | 2339 |
| Benzene | 0 | 0 | 0 |
| Air | 0 | 0 | 6222 |
| Klorobenzene | 0 | 0 | 0 |
| Fenol | 0 | 0 | 0 |
| Total | 15966 | 22188 | |
| Masuk Reaktor (5) | | | |
| Air (Solvent) | 6222 | | |
| Total | 22188 | | |

3.4.5. Menara Distilasi Benzene (MD-01)

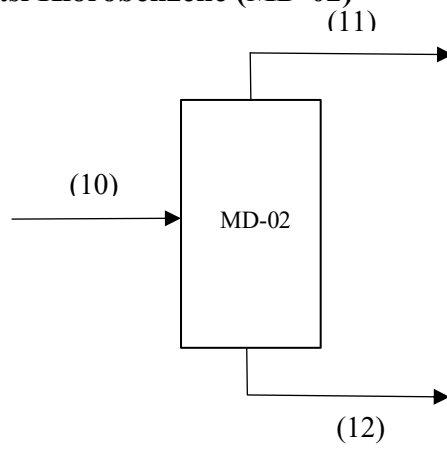


Gambar 3. 7 Arus di Sekitar Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3. 36 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|--------------|-------------------|-----------------|-------------|
| | | Distilat | Bottom |
| | 8 (cair) | 9 (gas) | 10 (cair) |
| Nitrogen | 0 | 0 | 0 |
| Oksigen | 0 | 0 | 0 |
| Asam Klorida | 0 | 0 | 0 |
| Benzene | 14799 | 14651 | 148 |
| Air | 4942 | 49 | 4893 |
| Klorobenzene | 56 | 0 | 56 |
| Fenol | 892 | 0 | 892 |
| Total | | 14700 | 5989 |
| | 20689 | 20689 | |

3.4.6. Menara Distilasi Klorobenzene (MD-02)



Gambar 3. 8 Arus di Sekitar Menara Distilasi (MD-02)

Tabel 3. 37 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-02)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|--------------|-------------------|-----------------|------------|
| | | Distilat | Bottom |
| | 10 (cair) | 11 (gas) | 12 (cair) |
| Nitrogen | 0 | 0 | 0 |
| Oksigen | 0 | 0 | 0 |
| Asam Klorida | 0 | 0 | 0 |
| Benzene | 148 | 148 | 0 |
| Air | 4893 | 4892 | 1 |
| Klorobenzene | 56 | 56 | 1 |
| Fenol | 892 | 9 | 883 |
| Total | | 5105 | 884 |
| | 5989 | 5989 | |

3.5. Neraca Panas

Basis satuan massa yang digunakan adalah kg/jam. Berikut adalah analisis neraca panas alat.

Basis perhitungan : 1 jam operasi
Bahan baku : Asam klorida, Benzene, dan Udara
Produk akhir : Fenol
Kemurnian fenol : 99%
Kapasitas pertahun : 7.000 ton/tahun
Waktu operasi : 330 hari
: 24 jam

3.5.1. Fixed Bed Reaktor (R-01)

Tabel 3. 38 Neraca Panas Reaktor (R-01)

| Komponen | Input | Output |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10 ⁶) | kJ/jam (*10 ⁶) |
| Q _{in} | 37,8988 | - |
| Q _{out} | - | 7,6275 |
| Q _R | -0,0777 | - |
| Q _{Pendingin} | - | 371,2831 |
| Total | 378,9107 | 378,9107 |

3.5.2. Fixed Bed Reaktor (R-02)

Tabel 3. 39 Neraca Panas Reaktor (R-02)

| Komponen | Input | Output |
|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10 ⁶) | kJ/jam (*10 ⁶) |
| Q _{in} | 1131,2195 | - |
| Q _{out} | - | 21,2439 |

| Komponen | Input | Output |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _R | 0,0588 | - |
| Q _{Pendingin} | - | 1110,0343 |
| Total | 1131,2783 | 1131,2783 |

3.5.3. Separator (SP01)

Tabel 3. 40 Neraca Panas Separator (SP-01)

| Komponen | Input | Output |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 3,7074 | - |
| Q _{out} (gas) | - | 0,8696 |
| Q _{out} (cair) | - | 2,8377 |
| Total | 3,7074 | 3,7074 |

3.5.4. Absorber (ABS-01)

Tabel 3. 41 Neraca Panas Absorber (ABS-01)

| Komponen | Input | Output |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} (gas) | 0,8391 | - |
| Q _{in} (cair) | 1,4167 | - |
| Q _{cair} (gas) | - | 0,6033 |
| Q _{out} (cair) | - | 1,4787 |
| Q _{serap} | -0,1738 | |
| Total | 2,0820 | 2,0820 |

3.5.5. Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3. 42 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

| Komponen | Input | Output |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| ΔH umpan | 3,3528 | - |
| ΔH distilat | - | 0,9652 |
| ΔH condensor | - | 3,8986 |
| ΔH bottom | - | 1,7458 |
| ΔH reboiler | 3,2568 | - |
| Total | 6,6097 | 6,6097 |

3.5.6. Menara Distilasi (MD-02)

Tabel 3. 43 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-02)

| Komponen | Input | Output |
|----------------------|--|--|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ |
| ΔH umpan | 0,2115 | - |
| ΔH distilat | - | 0,7097 |
| ΔH condensor | - | 9,3427 |
| ΔH bottom | - | 3,3664 |
| ΔH reboiler | 10,2074 | - |
| Total | 10,4189 | 10,4189 |

3.5.7. Condensor Parsial (CDP-01)

Tabel 3. 44 Neraca Panas *Condensor Parsial* (CDP-01)

| Komponen | Input | Output |
|-----------------|--|--|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ |
| Q_{in} | -0,8496 | |
| Q_{out} | | 26,1390 |
| $Q_{pendingin}$ | 26,9887 | |
| Total | 26,1390 | 26,1390 |

3.5.8. Condensor (CD-01)

Tabel 3. 45 Neraca Panas *Condensor* (CD-01)

| Komponen | Input | Output |
|-----------------|--|--|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ |
| Q_{in} | 0,9803 | |
| Q_{out} | | 3,0125 |
| $Q_{pendingin}$ | 2,0321 | |
| Total | 3,0125 | 3,0125 |

3.5.9. Condensor (CD-02)

Tabel 3. 46 Neraca Panas *Condensor* (CD-02)

| Komponen | Input | Output |
|-----------------|--|--|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ | $\text{kJ/jam } (*10^6)$ |
| Q_{in} | 0,7087 | |
| Q_{out} | | 3,1508 |
| $Q_{pendingin}$ | 2,4420 | |
| Total | 3,1508 | 3,1508 |

3.5.10. Heat Exchanger (HE-01)

Tabel 3. 47 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-01)

| Komponen | Input | Output |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 4,6799 | |
| Q _{out} | | 348,7259 |
| Q _{pendingin} | -344,0460 | |
| Total | 4,6799 | 4,6799 |

3.5.11. Heat Exchanger (HE-02)

Tabel 3. 48 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-02)

| Komponen | Input | Output |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 3,9528 | |
| Q _{out} | | 10,5058 |
| Q _{pendingin} | -6,5525 | |
| Total | 3,9528 | 3,9528 |

3.5.12. Heat Exchanger (HE-03)

Tabel 3. 49 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-03)

| Komponen | Input | Output |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 3,1326 | |
| Q _{out} | | 10,1668 |
| Q _{pendingin} | -7,0342 | |
| Total | 3,1326 | 3,1326 |

3.5.13. Heat Exchanger (HE-04)

Tabel 3. 50 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-04)

| Komponen | Input | Output |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 368,3093 | |
| Q _{out} | | 2370,4373 |
| Q _{pendingin} | -2002,1280 | |
| Total | 368,309,3 | 368,3093 |

3.5.14. Heat Exchanger (HE-05)

Tabel 3. 51 Neraca Panas Heat Exchanger (HE-05)

| Komponen | Input | Output |
|------------|---|---|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ |
| Qin | 2,8380 | |
| Qout | | 3,3588 |
| Qpendingin | -0,5208 | |
| Total | 2,8380 | 2,8380 |

3.5.15. Vaporizer (V-01)

Tabel 3. 52 Neraca Vaporizer (V-01)

| Komponen | Input | Output |
|----------|---|---|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ |
| Qin | 12,6779 | |
| Qout | | 10,8261 |
| Qsteam | 1,8517 | |
| Total | 10,8261 | 10,8261 |

3.5.16. Vaporizer (V-02)

Tabel 3. 53 Neraca Panas Vaporizer (V-02)

| Komponen | Input | Output |
|----------|---|---|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ |
| Qin | 7,5750 | |
| Qout | | 6,1409 |
| Qsteam | 2,8496 | |
| Total | 6,1409 | 6,1409 |

3.5.17. Reboiler (RB-01)

Tabel 3. 54 Neraca Panas Reboiler (RB-01)

| Komponen | Input | Output |
|----------|---|---|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ | $\text{kJ/jam} (*10^6)$ |
| Qin | 5,6332 | |
| Qout | | 5,6006 |
| Qsteam | 0,0325 | |
| Total | 5,6006 | 5,6006 |

3.5.18. Reboiler (RB-02)

Tabel 3. 55 Neraca Panas *Vaporizer* (RB-02)

| Komponen | Input | Output |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 9,9882 | |
| Q _{out} | | 9,7420 |
| Q _{steam} | 0,2461 | |
| Total | 9,7420 | 9,7420 |

3.5.19. Cooler (CL-01)

Tabel 3. 56 Neraca Panas *Cooler* (CL-01)

| Komponen | Input | Output |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 1,5745 | |
| Q _{out} | | 0,2101 |
| Q _{steam} | | 1,3644 |
| Total | 1,5745 | 1,5745 |

3.5.20. Cooler (CL-02)

Tabel 3. 57 Neraca Panas *Cooler* (CL-02)

| Komponen | Input | Output |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 4,9718 | |
| Q _{out} | | 0,8821 |
| Q _{steam} | | 4,0897 |
| Total | 4,9718 | 4,9718 |

3.5.21. Cooler (CL-02)

Tabel 3. 58 Neraca Panas *Cooler* (CL-02)

| Komponen | Input | Output |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
| | kJ/jam (*10⁶) | kJ/jam (*10⁶) |
| Q _{in} | 0,3667 | |
| Q _{out} | | 0,0207 |
| Q _{steam} | | 0,3459 |
| Total | 0,3667 | 0,3667 |

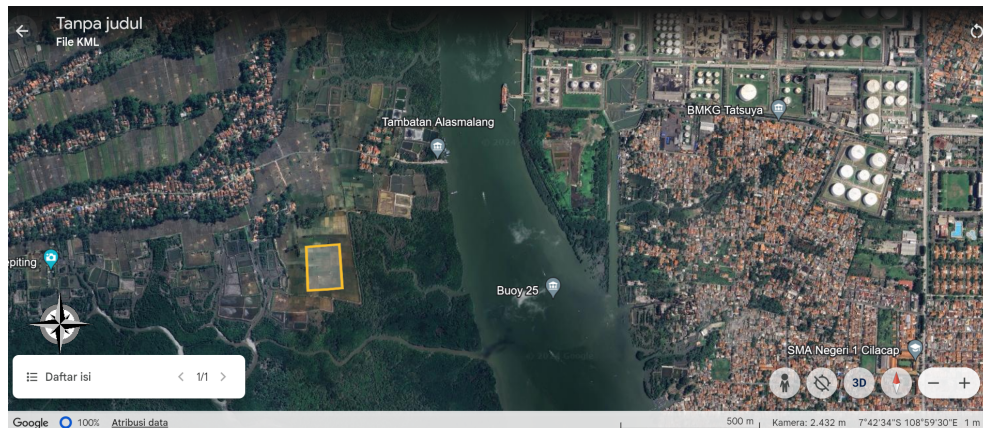
BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1. Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik sangat penting untuk dipertimbangkan karena berkaitan dengan nilai ekonomi dari pabrik tersebut. Beberapa aspek yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi pendirian pabrik diantaranya ketersediaan bahan baku, pemasaran, transportasi, lingkungan sekitar, sarana pendukung dan lain-lain.

Pabrik direncanakan akan didirikan di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah berlokasi di Kawasan Pabrik Pertamina IV Cilacap, Lomanis, Kecamatan Cilacap Tengah, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah.



Gambar 4. 1 Lokasi Pabrik Fenol

4.1.1 Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk proses produksi fenol adalah benzene dan asam klorida. Lahan di Cilacap masih banyak yang tersedia untuk dibangun pabrik. Pemilihan lokasi pabrik yang dekat

dengan sumber bahan baku dapat meminimalisir biaya transportasi bahan baku menuju pabrik, sehingga penghematan biaya produksi akan tercapai.

4.1.2 Ketersediaan Air dan Energi

Air merupakan aspek yang sangat penting baik untuk proses produksi di suatu pabrik maupun kebutuhan sehari-hari. Lokasi pabrik yang didirikan dekat dengan Sungai, sehingga dapat dilakukan proses pengolahan air Sungai menjadi air industri. Untuk keperluan energi, karena letak pabrik ini berada di Kawasan industri PT Pertamina RU IV, maka sudah ada pabrik yang bertugas sebagai pemasok energi, yaitu PT Elnusa Tbk, sehingga keperluan air dan energi akan langsung terpenuhi.

4.1.3 Sarana Transportasi dan Infrastruktur

Cilacap merupakan kota yang mudah sarana transportasinya, baik jalur darat, laut, maupun udara. Untuk jalur darat saat ini menurut data dari BPS Cilacap, pada tahun 2022, Sebagian besar jalan di Cilacap yaitu sebesar berada dalam kondisi baik, 68% dalam kondisi sedang, 10% dalam kondisi sedang, 10% dalam kondisi rusak, dan 12% dalam kondisi rusak berat (Badan Pusat Statistik, 2022).

Untuk transportasi laut, disekitar Kawasan industry ini sudah dekat dengan Pelabuhan, Dimana transportasi laut sangat mudah dijangkau. Jalur udara di Cilacap adalah Bandara Tunggul Wulung, sehingga transportasi sangat mudah dijangkau.

4.1.4 Bahan Buangan dan Gangguan Lingkungan

Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik akan diolah di dalam pabrik hanya sampai bagian pre-treatment. Untuk limbah B3 akan diolah oleh jasa Pengangkutan Limbah B3 Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI)

4.1.5 Pemasaran

Fenol hasil produksi akan digunakan sebagai bahan baku resin fenol yang dikelola oleh PT Intan Wijaya Internasional dan dapat juga digunakan sebagai bahan baku bisphenol-a, sehingga kemudahan distribusi produk sangat diperlukan. Kemudahan proses distribusi produk dapat dicapai apabila pendirian pabrik didirikan dekat dengan target pasar atau dekat dengan pelabuhan dikarenakan proses distribusi hasil produksi akan lebih mudah apabila melalui jalur laut.

4.1.6 Sumber Daya Manusia

Data BPS mengenai sensus penduduk di Cilacap tercatat pada tahun 2023 jumlah penduduk cilacap sebanyak 2.007.829 jiwa. Jumlah Angkatan kerja di cilacap pada tahun 2023 sebanyak 1.046.667 orang atau sekitar 66,6% sehingga masih banyak Sumber Daya Manusia yang dapat dimanfaatkan (Badan Pusat Statistik, 2023).

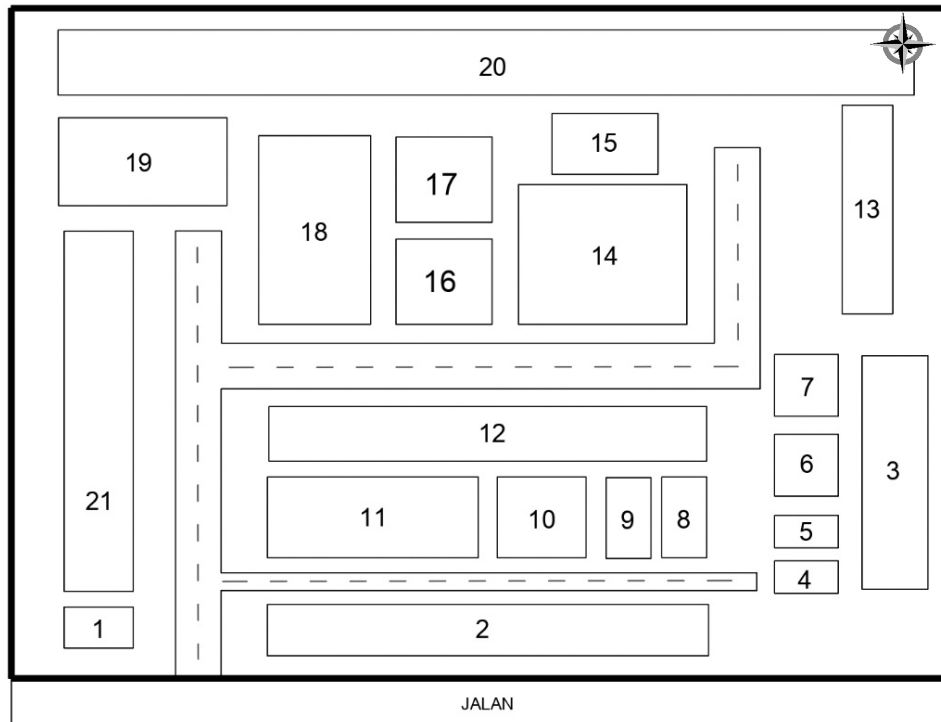
4.1.7 Faktor Geografis

Kabupaten Cilacap di Provinsi Jawa Tengah memiliki sejumlah faktor geografis yang mendukung pendirian pabrik dan fasilitas industri. Terletak di pantai selatan Pulau Jawa dengan akses langsung ke Samudra Hindia, Cilacap menawarkan kemudahan dalam kegiatan ekspor-impor melalui Pelabuhan Tanjung Intan, salah satu pelabuhan terbesar di Jawa Tengah. Keberadaan pelabuhan ini serta akses transportasi darat yang baik, termasuk jalan raya dan rel kereta api, meningkatkan efisiensi logistik. Cilacap juga memiliki lahan luas yang tersedia untuk pembangunan industri serta sumber daya alam yang melimpah, seperti minyak bumi, gas alam, dan hasil tambang lainnya, yang mendukung berbagai jenis industri. Selain itu, populasi yang cukup besar menyediakan tenaga kerja yang potensial, baik terampil maupun tidak terampil. Iklim tropis dengan curah hujan cukup mendukung aktivitas pertanian dan perkebunan, sementara topografi yang relatif datar memudahkan pembangunan infrastruktur industri. Dukungan pemerintah dalam bentuk regulasi dan insentif investasi juga memainkan peran penting dalam menarik investor ke wilayah ini. Kombinasi faktor-faktor ini menjadikan Cilacap sebagai lokasi yang strategis untuk pendirian pabrik dan pengembangan sektor industri.

4.2. Tata Letak Pabrik

Pabrik Fenol direncanakan akan dibangun di Kawasan Cilacap dengan luas 1,341 ha (1341 m²). Tata letak pabrik meliputi letak alat proses, tempat kerja

karyawan, tempat penyimpanan bahan baku dan produk, letak unit utilitas, dan sarana-sarana pendukung lain. Perencanaan tata letak pabrik Fenol dari Porses Raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun dapat dilihat dalam gambar berikut :



Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik Fenol

Skala 1:1000

Adapun, rincian luas tanah sebagai bangunan pabrik dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 4. 1 Perincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik

| No. | Lokasi | Panjang | Lebar | Luas |
|-----|------------------------|---------|-------|----------------|
| | | m | m | m ² |
| 1 | Pos penjagaan | 5 | 5 | 25 |
| 2 | Area parkir | 20 | 5 | 100 |
| 3 | Area mess | 20 | 10 | 200 |
| 4 | Perpustakaan | 10 | 10 | 100 |
| 5 | Kantin | 10 | 10 | 100 |
| 6 | Bengkel | 20 | 30 | 600 |
| 7 | Gudang peralatan | 20 | 30 | 600 |
| 8 | Poliklinik | 10 | 20 | 200 |
| 9 | Laboratorium | 15 | 20 | 300 |
| 10 | Mushola | 20 | 20 | 400 |
| 11 | Kantor | 30 | 20 | 600 |
| 12 | Taman | 50 | 10 | 500 |
| 13 | Unit pemadan kebakaran | 10 | 10 | 100 |
| 14 | Area penyimpanan | 30 | 30 | 900 |
| 15 | <i>Generator</i> | 20 | 10 | 200 |
| 16 | <i>Control area</i> | 20 | 30 | 600 |
| 17 | Utilitas | 20 | 30 | 600 |
| 18 | Area proses | 30 | 50 | 1.500 |
| 19 | Pengolahan limbah | 20 | 30 | 600 |

| | | | | |
|----------------------|---------------|----|----|--------|
| 20 | Area peluasan | 50 | 50 | 2.500 |
| 21 | Zona hijau | 30 | 5 | 150 |
| Luas Bangunan | | | | 11.175 |
| Luas Tanah | | | | 13.410 |

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan tata letak suatu pabrik antara lain yaitu:

1. Letak masing-masing bangunan sedemikian rupa sehingga memberikan kenyamanan dan keamanan bagi tenaga kerja.
2. Susunan tata letak pabrik ini harus memungkinkan adanya distribusi bahan-bahan dengan baik, cepat, dan efisien.
3. Jalan-jalan dalam pabrik harus cukup lebar dan memperhatikan factor keselamatan manusia, sehingga lalu lintas dalam pabrik dapat berjalan dengan baik.
4. Letak setiap bangunan atau fasilitas juga harus mempertimbangkan beberapa aspek terkait mitigasi bencana, seperti penyebaran api karena arah angin apabila terjadi kebakaran.

4.3. Tata Letak Mesin/Alat Proses

Tata letak dalam alat proses harus dirancang sedemikian rupa agar proses dapat berjalan dengan aman sehingga dapat mencapai *zero accident*. Faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penataan tata letak alat proses antara lain:

1. Keamanan dan keselamatan

Alat-alat proses harus dikelompokkan dalam unit-unit proses dan pelatakannya harus jauh dari kantor atau tempat yang terdapat banyak karyawan. Peletakan alat juga harus disesuaikan dengan ketentuan *hazard* setiap alat sehingga apabila terjadi bahaya tidak menimbulkan bahaya di alat-alat yang lain.

2. Ekonomi

Peletakan alat dalam unit proses harus sebaik mungkin sehingga dapat memberikan biaya konstruksi dan operasi yang minimum. Biaya konstruksi dapat meminimalkan dengan mengatur letak setiap alat sehingga menghasilkan pemipaan yang terpendek dan membutuhkan bahan konstruksi yang paling sedikit.

3. Kebutuhan proses

Letak antara alat proses yang satu dengan yang lainnya harus memberikan *space* yang cukup agar setiap alat dapat beroperasi dengan baik dan didukung distribusi utilitas yang mudah.

4. Kemudahan dalam pemeliharaan

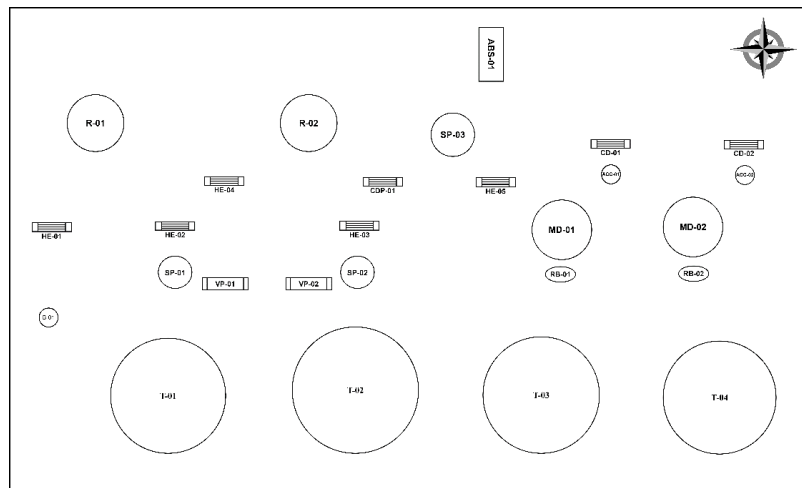
Peletakan alat harus memperhatikan ruang untuk *maintenance* alat sehingga saat proses perawatan maupun pergantian akan lebih mudah.

5. Perluasan dan pengembangan pabrik

Setiap pabrik diharapkan mampu membuat pengembangan dengan adanya penambahan unit sehingga susunan pabrik perlu disusun dengan pabrik untuk mempermudah perluasan.

Perencanaan tata letak proses pabrik Fenol dari Proses Raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

Skala 1:1000



Gambar 4. 3 Tata Letak Proses Pabrik Fenol

4.4. Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Bentuk perusahaan yang direncanakan untuk pabrik fenol ini adalah Perseroan Terbatas (PT). Perseroan terbatas merupakan bentuk perusahaan yang modal awalnya diperoleh dari penjualan saham, dimana tiap pemegang saham turut mengambil bagian sebanyak satu saham atau lebih. Saham adalah surat berharga yang dikeluarkan oleh perusahaan atau PT tersebut dan orang yang memiliki saham berarti telah menyetorkan modal ke perusahaan, yang berarti pula ikut memiliki perusahaan. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan bentuk perusahaan ini adalah sebagai berikut.

a. Mudah Mendapatkan Modal

Dalam perseroan terbatas, modal diperoleh melalui penjualan saham di pasar modal. Modal terbagi dalam saham-saham, sehingga hal ini menjadi mungkin apabila ada orang yang ingin ikut serta menanamkan modal dalam jumlah kecil namun tidak menghalangi pemasukan modal dalam jumlah besar. Sehingga akan memudahkan pergerakan di pasar modal dan pengumpulan modal dengan penjualan saham menjadi efektif.

b. Wewenang dan Tanggung Jawab Pemegang Saham Terbatas

Dalam perseroan terbatas, pemegang saham hanya bertanggung jawab menyetor penuh jumlah modal yang disebutkan dalam tiap-tiap saham tanpa ikut andil dalam mengelola perusahaan. Hal ini membuat kelancaran produksi relatif lebih stabil karena pengelolaan perusahaan hanya dipegang oleh pimpinan perusahaan.

c. Pemilik dan Pengurus Perusahaan Terpisah Satu Sama Lain

Pemilik perusahaan merupakan para pemegang saham, sementara pengurus perusahaan adalah direksi beserta jajarannya yang diawasi oleh Dewan Komisaris.

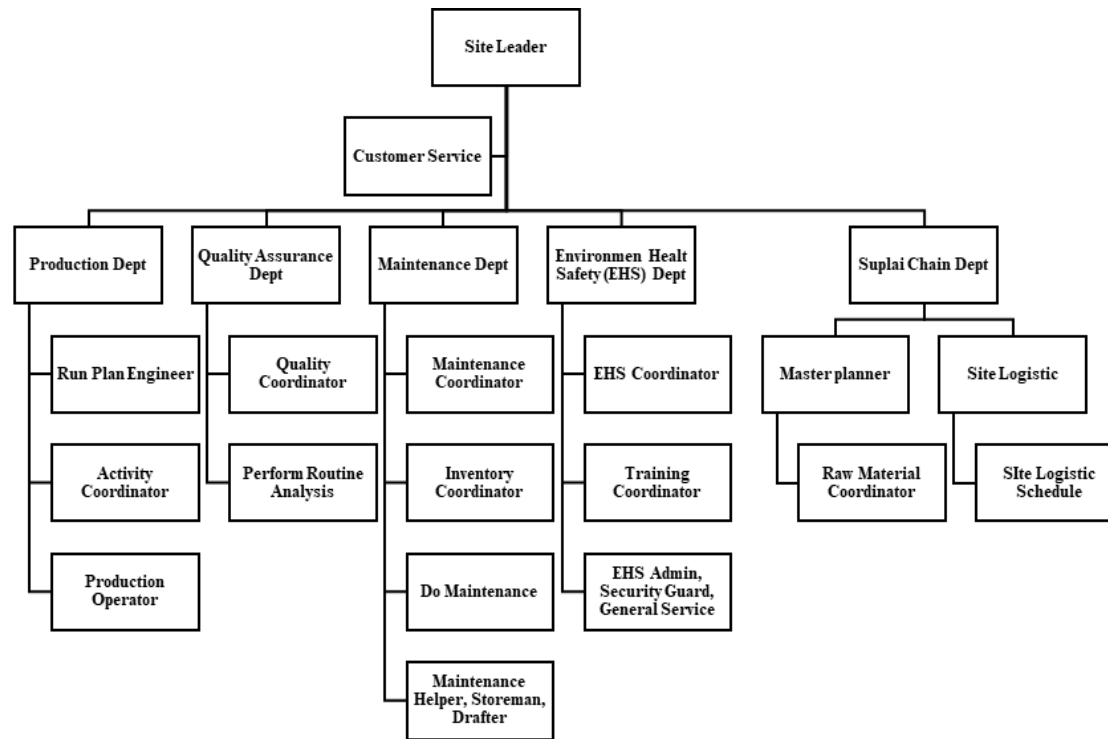
d. Kelangsungan Hidup Perusahaan Lebih Terjamin

Jika terjadi pergantian pemegang saham dari jabatannya, tidak akan berpengaruh terhadap direksi, staf, maupun karyawan

yang bekerja di dalamnya. Hal ini dikarenakan para pemilik saham tidak ikut andil secara langsung dalam mengelola perusahaan.

4.4.2 Struktur organisasi

Struktur organisasi merupakan salah satu unsur yang sangat diperlukandalam suatu perusahaan. Dalam rangka menjalankan suatu proses pabrik dengan baik dalam hal ini di suatu perusahaan, diperlukan suatu manajemenatau organisasi yang memiliki pembagian tugas dan wewenang yang baik agar dapat memahami posisi masing-masing. Berikut merupakan jenjang kepemimpinan dalam perusahaan, yaitu:



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

Berikut ini adalah tugas pokok dan fungsi dari setiap departemen yang ada:

1. *Plant Department*

Plant departemen dipimpin oleh seorang *site leader* bertugas untuk mengawasi dan mengatur jalannya setiap program perusahaan yang direncanakan. *Plant departemen* membawahi departemen-departemen.

2. *Production Department*

Production department dipimpin oleh seorang *operation leader* dalam melaksanakan tugas dibantu oleh seorang *production supervisor*.

Berikut merupakan pelaksanaan produksi di lapangan terdiri dari :

a. *Production Operator*

- Reactor Operator

Reactor operator bertugas untuk menyiapkan material yang akan digunakan dan melaksanakan proses reaktor, selain itu reaktor operator juga menyiapkan material awal yang akan digunakan di tangki penyimpanan sebelum material dimasukkan ke dalam reaktor.

b. **Operator Kontraktor**

Operator kontraktor merupakan kontraktor dari perusahaan lain.

c. *Packout Kontraktor*

Packout Kontraktor merupakan kontraktor yang bertugas dalam pengisian dan pengemasan produk.

d. *Utility Operator*

Utility operator merupakan yang bertugas untuk menyediakan dan menjalankan unit-unit pendukung dalam suatu proses.

3. *Environmental Health Safety (EHS) Departement*

Environmental health safety (EHS) dipimpin oleh seorang *EHS delivery leader* yang bertanggung jawab terhadap memimpin implementasi sistem manajemen EHS termasuk proses kerja, standar, dan prosedur untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan dan keselamatan, nilai tambah untuk memenuhi tujuan lokasi, dan mempertahankan lisensi untuk beroperasi. Membutuhkan pengetahuan konseptual teori, teknik dan metodologi dalam disiplin teknologi analitis.

4. *Maintenance Department*

Maintenance department dipimpin oleh seorang *reliability and maintenance engineer* yang membawahi *planner inventory, maintenance craftsman, maintenance EHS haler, storeman, dan drafter*.

5. *Supply Chain Department*

Supply department dipimpin oleh *supply chain manager* yang membawahi beberapa staf diantaranya:

a. *Plant scheduler*

Plant scheduler bertugas dalam pembuatan rencana produksi beserta jadwal produksi setiap harinya sesuai dengan permintaan konsumen.

b. *Logistic Specialist*

Logistic specialist bertugas dalam mengirim produk sesuai dengan permintaan kepada konsumen, memeriksa nama produk dan jumlah produk.

c. *Logistic Admin*

Logistic admin bertugas dalam menerima dan bertanggung jawab terhadap penerimaan raw material yang datang dari dalam maupun luar negeri.

6. *Quality Assurance (QA) department*

Quality assurance (QA) departemen dipimpin oleh seorang supervisor dan mempunyai empat orang teknisi laboratorium yang bertugas untuk mengontrol dan melaksanakan analisa terhadap suatu produk, bahan baku, produk setengah jadi sampel utility dan sampel air limbah.

7. *Customer service*

Customer service bertugas dalam mengatur pesanan masuk, baik dalam negeri maupun luar negeri.

4.4.4 Status Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan

1. *Status Karyawan*

Berdasarkan statusnya karyawan dibedakan menjadi beberapa golongan, antara lain:

a) *Karyawan Tetap*

Karyawan tetap merupakan karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan Surat Keputusan (SK) dari direksi. Dan mendapat gaji bulanan sesuai dengan kedudukan, keahlian dan masa kerjanya.

b) Karyawan Harian

Karyawan harian merupakan karyawan yang diangkat dan diberhentikan tanpa Surat Keputusan (SK) dari direksi. Dan mendapat gaji harian yang dibayar tiap akhir pekan.

c) Karyawan Borongan

Karyawan borongan merupakan karyawan yang bekerja di pabrik atau perusahaan jika diperlukan saja. Karyawan ini menerima gaji borongan untuk suatu pekerjaan yang telah disetujui.

2. Penggolongan Karyawan

Jabatan dalam struktur organisasi perusahaan diisi oleh orang-orang dengan spesifikasi pendidikan dan keahlian sesuai jabatan dan tanggung jawabnya. Karyawan pada perusahaan ini terdiri dari beragam jenjang pendidikan, mulai dari lulusan Sekolah Menengah Pertama (SMP) hingga Magister (S-2). Rincian penggolongan jabatan beserta jenjang pendidikannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Daftar Jabatan Perusahaan

| Jabatan | Pendidikan |
|------------------|------------|
| Site Leader | S2 |
| Customer Service | S1 |

| Jabatan | Pendidikan |
|---|-------------------|
| Run Plan Engineer | S1 |
| Activity Coordinator | S1 |
| Production Operator | S1 |
| Quality Coordinator | S1 |
| Perform Routine Analysis | S1 |
| Maintenance Coordinator | S1 |
| Inventory Coordinator | S1 |
| Do Maintenance | S1 |
| Maintenance Helper, Storeman, Drafter | S1 |
| EHS Coordinator | S1 |
| Training Coordinator | S1 |
| EHS Admin, Security Guard, General Service | S1 |
| Master Planner | S1 |
| Raw Material Coordinator | S1 |
| Site Logistic | S1 |
| Site Logistic Schedule | S1 |

3. Jumlah Karyawan

Jumlah karyawan pada perusahaan harus diperhitungkan secara cermat agar pekerjaan dapat diselesaikan secara efektif dan efisien. Jumlah karyawan pada setiap posisi tergantung pada kebutuhan.

4.4.5 Pembagian Jam Kerja dan Sistem Gaji Karyawan

1. Pembagian Jam Kerja

Pabrik fenol akan beroperasi 330 hari selama satu tahun dalam 24 jam sehari. Sisa hari yang bukan merupakan hari libur digunakan untuk perbaikan, perawatan atau *shut down*. Berdasarkan jam kerjanya, karyawan perusahaan dapat digolongkan menjadi 2 golongan karyawan *non-shift* (harian) dan karyawan *shift*.

a) **Karyawan *non shift***

Karyawan *non shift* adalah para karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung. Yang termasuk para karyawan *non shift* adalah direktur, staf ahli, kepala bagian, kepala seksi serta seluruh yang tugasnya berada di kantor. Karyawan *non shift* dalam satu minggu bekerja selama 5 hari dengan jam kerja sebagai berikut:

Senin-Kamis : 08.00 s.d. 17.00 WIB
(istirahat 12.00 s.d. 13.00)

Jumat : 08.00 s.d. 17.00
(istirahat 11.30 s.d. 13.30)

Sabtu s.d. Minggu : Hari libur, termasuk hari libur nasional

b) **Karyawan *shift***

Karyawan *shift* adalah karyawan yang langsung menangani proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik

yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan dan kelancaran produksi sehingga tidak dapat ditinggalkan. Yang termasuk karyawan *shift* ini adalah operator produksi, sebagian dari bagian teknik, bagian gudang dan bagian utilitas, pengendalian, laboratorium, termasuk petugas keamanan yang menjaga keamanan selama proses produksi berlangsung. Para karyawan akan bekerja secara bergantian sehari semalam. Karyawan dibagi dalam 3 *shift* dengan pengaturan sebagai berikut:

Shift Pagi : 08.00 s.d. 17.00

Shift Sore : 17.00 s.d. 00.00

Shift Malam : 00.00 s.d. 08.00

Jadwal kerja terbagi menjadi empat minggu dan empat kelompok. Setiap kelompok kerja mendapatkan libur satu kali dari tiga kali *shift*. Setiap kelompok mendapatkan giliran 6 hari kerja dan satu hari libur untuk setiap *shift* dan masuk lagi untuk *shift* berikutnya. Untuk hari libur atau hari besar yang ditetapkan oleh pemerintah, regu yang bertugas tetap masuk. Berikut adalah jadwal kerja karyawan *shift*:

Tabel 4. 3 Jadwal *Shift* Kerja Karyawan

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

Keterangan :

P = Pagi S = Siang

M = Malam L = Libur

2. Sistem Gaji Karyawan

Sistem pembagian gaji pada perusahaan ini terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a) Gaji Bulanan

Gaji yang diberikan kepada karyawan tetap dengan jumlah sesuai peraturan perusahaan dan dibayarkan pada tanggal 1 setiap bulannya.

b) Gaji Harian

Gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian dan karyawan borongan.

c) Gaji Lembur

Gaji tambahan yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja pokok.

4.4.6 Ketenagakerjaan

Setiap karyawan mempunyai hak dalam hal ketenagakerjaan seperti yang tertuang dalam peraturan perundang-undangan. Hak-hak tersebut antara lain:

1. Tunjangan

Tunjangan karyawan terdiri dari:

- a) Tunjangan yang berupa gaji pokok yang diberikan berdasarkan golongan karyawan yang bersangkutan.
- b) Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan jabatan yang dipegang oleh karyawan.
- c) Tunjangan lembur yang diberikan kepada karyawan yang bekerja di luar jam kerja berdasarkan jumlah jam kerja.
- d) Tunjangan hari raya (THR), diberikan sebesar nilai satu bulan gaji kepada karyawan setiap tahunnya saat menjelang hari raya Idul Fitri.

2. Hari Libur Nasional

Untuk karyawan harian (*non-shift*), hari libur nasional dihitung sebagai hari libur kerja. Sedangkan bagi karyawan *shift*, hari libur nasional dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*).

3. Hak Cuti

Hak cuti karyawan terdiri dari:

- a) Cuti tahunan diberikan kepada setiap karyawan selama 12 hari kerja dalam satu tahun. Apabila hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun tersebut.
- b) Cuti sakit diberikan kepada setiap karyawan yang menderita sakit berdasarkan keterangan dokter, termasuk kepada karyawan wanita yang melahirkan.

4. Fasilitas Karyawan

Dalam rangka meningkatkan produktivitas karyawan, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas yang dapat digunakan oleh karyawan untuk menjaga kondisi jasmani dan rohani karyawan, sehingga mereka tidak merasa jenuh dalam menjalankan pekerjaan sehari-hari dan kegiatan dalam perusahaan dapat berjalan dengan lancar. Fasilitas yang disediakan perusahaan meliputi:

- a) Poliklinik

Poliklinik disediakan bertujuan untuk menjaga kesehatan karyawan yang merupakan salah satu hal yang berpengaruh dalam efisiensi produksi pabrik. Poliklinik yang disediakan ditangani oleh dokter dan perawat.

- b) Tempat Ibadah

Tempat ibadah yang disediakan perusahaan berupa masjid, agar karyawan tetap dapat melaksanakan kewajiban rohani dan aktivitas keagamaan lainnya.

c) Pakaian Kerja

Perusahaan memberikan dua pasang pakaian kerja setiap tahunnya kepada semua karyawan untuk menghindari kesenjangan antar karyawan. Selain itu, perusahaan menyediakan masker dan berbagai alat pelindung diri (APD) lain sebagai alat pengaman kerja.

d) Makan dan Minum

Makan dan minum disediakan sebanyak satu kali dalam sehari oleh perusahaan yakni pada jam makan siang. Makanan dan minuman direncanakan akan dikelola oleh perusahaan *catering* yang ditunjuk perusahaan.

e) Transportasi

Untuk meringankan beban pengeluaran karyawan, perusahaan menyediakan alat transportasi bagi karyawan yang tidak menggunakan transportasi pribadi berupa *shuttle bus*. Bus akan beroperasi di beberapa titik tempat tinggal karyawan untuk mengantar dan menjemput karyawan saat akan berangkat dan pulang bekerja.

5. Jaminan Ketenagakerjaan

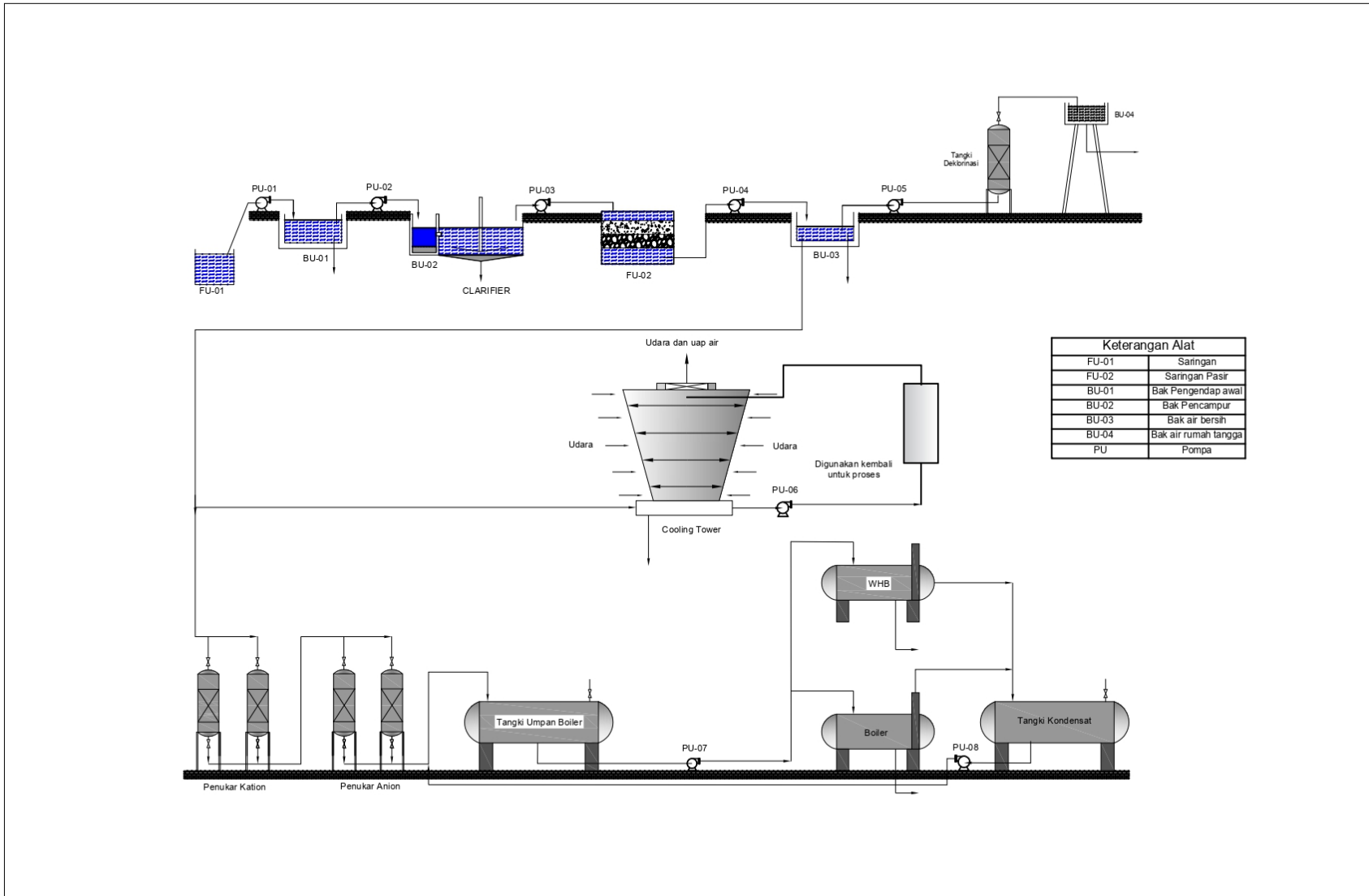
Perusahaan menyediakan asuransi pertanggungjawaban jiwa dan asuransi kecelakaan kerja bagi karyawan yang dikelola oleh Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS).

BAB V

UTILITAS

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

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



Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas

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

5.1.1 Unit Penyedia Air

Untuk memenuhi kebutuhan air suatu pabrik pada umumnya menggunakan air sungai, air sumur, air laut, maupun air laut sebagai sumbernya. Dalam unit ini terjadi proses pengolahan air baku menjadi air bersih, karena air yang berasal dari alam masih banyak mengandung kotoran (*impurities*) yang dapat menyebabkan kerak (*fouling*). Impurities yang terkandung dalam air ini terdiri dari *suspended solid* yaitu *impurities* yang tidak terlarut dan diproses pada proses klarifikasi serta *dissolved solid* yaitu *impurities* yang terlarut dan diproses pada proses demineralisasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan air baku baik secara fisik maupun kimia.

Air baku yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pabrik fenol ini berasal dari Sungai Donan. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah sebagai berikut.

1. Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi, sehingga kendala mengalami kekeringan maupun kekurangan air dapat terjaga.
2. Pengolahan air sungai relatif lebih mudah, sederhana, serta biaya pengolahannya lebih murah dibandingkan dengan pengolahan air laut yang lebih rumit dan biayanya cukup besar karena memiliki kandungan mineral dan garam yang perlu dipisahkan.
3. Lokasi sungai berada tidak jauh dari lokasi pembangunan pabrik.

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

A. Air Domestik (*Domestic Water*)

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

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

Untuk suatu pabrik atau kantor, kebutuhan air per orang sebesar 100 liter per hari. Jumlah karyawan pada pabrik ini berjumlah 100 orang. Sehingga total kebutuhan air domestik sebesar 1.000 kg/hari.

B. Air Layanan Umum (*Service Water*)

Service water merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan layanan umum atau karyawan seperti bengkel, klinik, laboratorium, masjid dan sebagainya. Kriteria service water yang digunakan sama seperti domestic water. Perkiraan kebutuhan air untuk *service water* sebesar 1.358 kg/jam.

C. Air Proses

Pada pabrik fenol air kebutuhan proses yang diperlukan sebesar 70.327 kg/jam digunakan untuk keperluan proses di Reaktor-01 dan Reaktor-02. Perancangan dibuat *over design* sebesar 20% sehingga menjadi 84.392 kg/jam.

Air proses dibutuhkan untuk proses utama pada pabrik, yaitu pada proses oksiklorinasi dan hidrolisis pada reaktor, selain itu air proses juga digunakan pada alat absorber yang mana membantu untuk penyerapan HCL.

D. Air Pendingin (*Cooling Water*)

Air pendingin merupakan air yang digunakan sebagai media pendingin pada proses produksi. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan digunakannya air pendingin sebagai media pendingin, antara lain:

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

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

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

- 4) Minyak, karena dapat menyebabkan gangguan pada *film corrosion inhibitor*, penurunan *heat exchanger coefficient* dan menimbulkan endapan karena minyak dapat menjadi makanan bagi mikroba.

Kebutuhan air pendingin pada pabrik fenol ini terlampir pada tabel 5.1 berikut :

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin

| Nama Alat | Kebutuhan (kg/jam) |
|------------------|---------------------------|
| Kondensor CDP-01 | 75.874 |
| Kondensor CD-01 | 472.044 |
| Kondensor CD-02 | 334.766 |
| Cooler-01 | 34.964 |
| Cooler-02 | 108.949 |
| Cooler-03 | 8.455 |
| Total | 1.035.051 |

Perancangan dibuat over design sebanyak 20% sehingga menjadi 1.242.061 kg/jam. Pada saat berlangsungnya proses, air pendingin mengalami *blowdown* pada unit *cooling tower* sehingga diperlukan air *make-up*. Sehingga kebutuhan air *make-up* yaitu sebesar 79.962 kg/jam.

E. Air Umpan Boiler (Boiler Feed Water)

Air umpan boiler merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan steam yang digunakan untuk menunjang kelangsungan proses produksi.

Kebutuhan steam untuk peralatan pada pabrik fenol terlampir pada tabel 5.2 berikut :

Tabel 5. 2 Kebutuhan Steam

| Nama Alat | Kebutuhan (kg/jam) |
|------------------|---------------------------|
| Pemanas-01 | 125 |
| Pemanas-02 | 37 |
| Pemanas-03 | 144 |
| Pemanas-04 | 31.184 |
| Pemanas-05 | 1.479 |
| Penguap-01 | 5.998 |
| Penguap-02 | 3.584 |
| Reboiler-01 | 2.665 |
| Reboiler-02 | 5.159 |
| Jumlah | 50.364 |

Perencanaan dibuat *over design* sebanyak 20% sehingga menjadi 60.436 kg/jam. Pada saat berlangsungnya proses, air pembangkit *steam* akan mengalami *blowdown* sebesar 10%, sehingga jumlah air *make-up* yang dibutuhkan sebesar 6.436 kg/jam.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Air sungai tidak dapat langsung digunakan, memerlukan beberapa pengolahan untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya. Beberapa tahap dalam pengolahan air yaitu :

1. Penghisapan

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

2. Penyaringan (*Screening*)

Screening merupakan bagian dari proses memisahkan kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti daun, ranting, dan sampah lainnya tanpa menggunakan bahan kimia. Sementara kotoran-kotoran yang berukuran lebih kecil akan terikut dengan aliran air kemudian dipisahkan pada taha selanjutnya. Pada sisi hisap pompa perlu dipasang *screener* untuk meminimalisir alat penyaring pada proses selanjutnya menjadi kotor dan cepat rusak.

3. Pengendapan Awal (*Sedimentation*)

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

4. Bak Penggumpal

Pada alat ini terjadi proses koagulasi. Koagulasi merupakan proses penggumpalan akibat penambahan zat kimia yang disebut koagulan ke dalam

air sehingga partikel-partikel tersebut akan menjadi stabil atau netral dan membentuk endapan. Koagulan yang digunakan adalah tawas atau aluminium sulfat (Al_2SO_4)₃.

5. Pengendapan

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

6. Sand Filter

Setelah keluar dari bak koagulasi dan flokulasi, air dialirkan ke *sand filter*. Di dalam *sand filter*, air akan mengalir dari bagian atas ke bawah melalui suatu media filter (*spheres*) yang akan menyaring partikel pengotor seperti *suspended solid*. *Output* dari *sand filter* mempunyai kandungan *suspended solid* kurang dari 1 ppm dan pH = 6,5 - 7,5. Air yang telah mengalami filtrasi akan ditampung di *filtered water storage tank*.

7. Tangki Penampung Air Bersih (Filtered Water Storage Tank)

Air bersih dari *sand filter* atau disebut biasa disebut *filtered water* ditampung di dalam tangki penampungan sementara. Air bersih ini kemudian akan

didistribusikan dan diolah lebih lanjut untuk dapat digunakan sebagai air domestik (*domestic water*), air layanan umum (*service water*), air pendingin (*cooling water*), air umpan boiler (*boiler feed water*), dan air proses.

8. Klorinasi

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

9. Cooling Tower

Cooling tower merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan air dingin yang dapat digunakan sebagai pendingin pada alat-alat proses. Proses yang terjadi pada *cooling tower* adalah pengolahan air panas menjadi air dingin menggunakan udara sebagai media pendinginnya. *Initial water* ke *cooling tower* berasal dari *filtered water storage tank* dengan suhu sekitar 38°C yang dialirkan ke atas *cooling tower* melalui distributor. Air akan mengalami evaporasi, sehingga air akan dialirkan ke bawah melalui lubang saluran (*swirl*). Bersamaan dengan proses ini, terjadi pelepasan panas laten, sehingga sebagian air akan menguap ke atmosfer. Untuk itu, dibutuhkan *make-up water* sebagai kompensasi terjadinya *evaporation loss*. *Make-up water* juga berasal dari *filtered water storage tank*. Air yang mengalami evaporasi di *cooling*

tower akan sama jumlahnya dengan *flow make-up water* yang masuk, sehingga kesetimbangan perpindahan panas antara udara dan air akan tetap stabil. Suhu air yang telah melalui proses pendinginan akan turun menjadi 30°C. Air pendingin harus mempunyai sifat-sifat yang tidak korosif, tidak menimbulkan kerak, dan tidak mengandung mikroorganisme yang bisa menimbulkan lumut. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan bahan-bahan kimia seperti *corrosion inhibitor*, *scale inhibitor*, *non-oxidizing biocide*, *dispersant*, *pH control* dan *oxidizing biocide*.

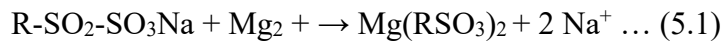
10. ***Demineralisasi***

Air yang digunakan sebagai air umpan boiler untuk memproduksi *steam water* tidak cukup hanya air bersih saja, tetapi juga harus air murni yang terbebas dari kandungan mineral-mineral terlarut. Untuk itu, perlu dilakukan proses demineralisasi. Demineralisasi adalah proses menghilangkan ion-ion yang terkandung pada *filtered water* dengan jalan penukaran ion. Proses demineralisasi terjadi di alat-alat berikut berikut.

a) ***Cation Exchange***

Cation exchanger merupakan unit yang berisi resin yang digunakan untuk menukar ion-ion positif atau kation. Kation yang terkandung dalam air seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{+}), natrium (Na^{+}), potassium (K^{+}), mangan (Mn^{2+}), besi (Fe^{2+}) dan aluminium (Al^{3+}) diganti dengan ion H^{+} atau Na^{+} dari resin. Kation-kation tersebut harus digantikan karena dapat menyebabkan *fouling* (kerak) pada boiler yang

dapat mengganggu operasi. Reaksi penukaran kation yang terjadi dalam kation *exchanger* adalah sebagai berikut:



Kation resin ini perlu diregenerasikan kembali dengan NaCl apabila dalam waktu tertentu telah mengalami jenuh. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



b) *Anion Exchange*

Anion exchanger merupakan unit yang berisi resin yang digunakan untuk menukar ion-ion negatif atau anion. Anion yang terkandung dalam air seperti bikarbonat (HCO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}), klorida (Cl^-), nitrat (NO_3^-), dan silika (SiO_2^-), diganti dengan resin yang memiliki sifat basa dan mempunyai formula RCl. Anion-anion tersebut harus digantikan karena dapat menyebabkan korosi pada boiler yang dapat mengganggu operasi.

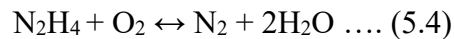
Reaksi penukaran anion yang terjadi dalam anion *exchanger* adalah sebagai berikut :



c) *Deaerator*

Air umpan boiler yang telah mengalami demineralisasi (*demin water*) pada *cation exchanger* dan *anion exchanger* akan mengalami proses daerasi pada deaerator. Daerasi adalah proses pembersihan air umpan boiler dari gas-gas yang karbon dioksida (CO_2). *Demin water*

dipompakan menuju deaerator kemudian diinjeksikan bahan kimia berupa hidrazin (N₂H₄) yang berfungsi untuk mengikat oksigen (O₂) sehingga dapat mencegah terjadinya korosi pada tube boiler. Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



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

Unit Pembangkit Steam bertugas menyediakan kebutuhan steam yang akan digunakan sebagai media pemanas dalam proses produksi. Jenis steam yang digunakan adalah steam jenuh suhu 222°C. Alat yang digunakan untuk menunjang kebutuhan steam pada pabrik fenol adalah boiler dengan spesifikasi:

Kapasitas = 65.507 kg/jam

Jumlah = 1

Boiler tersebut dilengkapi dengan sebuah unit *economizer safety valve system* dan pengaman yang bekerja secara otomatis. Air dari *filtered water storage tank* yang akan digunakan sebagai umpan boiler terlebih dahulu mengalami proses demineralisasi dan deaerasi. Selain itu air juga perlu diatur pH-nya menjadi sekitar 10,5-11,5 karena pada pH yang terlalu tinggi korosifitasnya juga tinggi. Sebelum masuk ke boiler, umpan dimasukkan dahulu ke dalam *economizer*, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran yang keluar dari boiler. Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (*burner*) bertugas untuk memanaskan lorong api dan pipa-pipa api.

Gas sisa pembakaran ini masuk ke *economizer* sebelum dibuang melalui cerobong asap, sehingga air di dalam boiler menyerap panas dari dinding- dinding

dan pipa-pipa api maka air menjadi mendidih. Uap air yang terbentuk terkumpul sampai mencapai tekanan 101,3 kPa, baru kemudian dialirkan ke *steam header* untuk didistribusikan ke area-area proses.

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

Unit Pembangkit Listrik bertugas menyediakan kebutuhan listrik untuk menggerakkan alat proses, alat utilitas, elektronik, penerangan, dan fasilitas lainnya di seluruh area pabrik. Sumber listrik utama yang digunakan pada pabrik fenol ini berasal dari PLN. Namun, pabrik ini juga dilengkapi dengan pembangkit listrik mandiri berupa sebuah generator. *Generator* berfungsi untuk menjadi sumber listrik cadangan apabila sumber listrik dari PLN mengalami gangguan atau pemadaman secara tiba-tiba. Adapun *generator* yang digunakan adalah jenis generator diesel dengan arus bolak-balik dengan kapasitas 8.000 kW.

Jenis ini dipilih dengan pertimbangan sebagai berikut.

- a. Tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar.
- b. Tegangan dapat dinaikan dan diturunkan sesuai kebutuhan.

Rincian kebutuhan listrik pada pabrik fenol ini adalah sebagai berikut.

A. Kebutuhan untuk peralatan proses

Tabel 5. 3 Total kebutuhan listrik alat proses

| No | Alat | hp | kW |
|----|----------|------|-------|
| 1 | Pompa-01 | 0,17 | 0,124 |
| 2 | Pompa-02 | 0,75 | 0,559 |
| 3 | Pompa-03 | 0,33 | 0,249 |
| 4 | Pompa-04 | 0,75 | 0,559 |
| 5 | Pompa-05 | 1,50 | 1,119 |

| No | Alat | hp | kW |
|-------|----------|------|-------|
| 6 | Pompa-06 | 0,33 | 0,249 |
| 7 | Pompa-07 | 2 | 1,491 |
| 8 | Pompa-08 | 0,75 | 0,559 |
| 9 | Pompa-09 | 0,33 | 0,249 |
| 10 | Pompa-10 | 0,17 | 0,124 |
| 11 | Pompa-11 | 0,17 | 0,124 |
| 12 | Pompa-12 | 1 | 0,746 |
| 13 | Blower | 1,5 | 1,119 |
| Total | | 8,75 | 6,525 |

B. Kebutuhan untuk utilitas

Tabel 5. 4 Total kebutuhan listrik utilitas

| No | Alat | hp | kW |
|-------|----------------------|-------|--------|
| 1 | Pompa utilitas-1 | 2 | 1,491 |
| 2 | Pompa utilitas-2 | 2 | 1,491 |
| 3 | Pompa utilitas-3 | 2 | 1,491 |
| 4 | Pompa utilitas-4 | 2 | 1,491 |
| 5 | Pompa utilitas-5 | 2 | 1,491 |
| 6 | Pompa utilitas-6 | 7,5 | 5,593 |
| 7 | Pompa utilitas-7 | 1,5 | 1,119 |
| 8 | Pompa utilitas-8 | 0,75 | 0,559 |
| 9 | Kompresor udara | 0,16 | 0,559 |
| 10 | Tangki NaOH | 0,33 | 0,249 |
| 11 | Tangki NaCl | 0,5 | 0,373 |
| 12 | Pengaduk | 6 | 4,474 |
| 13 | <i>Cooling tower</i> | 40 | 29,828 |
| 14 | <i>Clarifier</i> | 1,5 | 1,119 |
| 15 | Rake | 1,5 | 1,119 |
| Total | | 69,74 | 52,448 |

Jumlah kebutuhan listrik untuk alat proses dan utilitas = 58,973 kW

Angka keamanan diambil 10% dari total kebutuhan listrik = 5,9 kW

Maka daya total = 64,871 kW

C. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

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

$$P = 16,2177 \text{ kW}$$

D. Kebutuhan Listrik Penerangan

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

$$P = 9,7 \text{ kW}$$

E. Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor

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

$$P = 9,7 \text{ kW}$$

F. Kebutuhan Listrik Laboratorium, Tempat Ibadah, dll

Power yang digunakan untuk laboratorium, tempat ibadah, dll diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor :

$$P = 9,7 \text{ kW}$$

G. Kebutuhan Listrik Perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik = 1200 watt

Jumlah rumah = 5 unit

Kebutuhan listrik perumahan = 6000 watt

Tabel 5. 5 Total Kebutuhan Listrik Pabrik

| No | Keperluan | Kebutuhan (kW) |
|-------|--|----------------|
| 1 | Kebutuhan power plant dan utilitas | 58,973 |
| 2 | Kebutuhan listrik alat kontrol | 16,218 |
| 3 | Kebutuhan listrik penerangan | 9,731 |
| 4 | Kebutuhan listrik peralatan kantor | 9,731 |
| 5 | Kebutuhan listrik laboratorium, tempat ibadah, dll | 9,731 |
| 6 | Kebutuhan listrik perumahan | 6 |
| Total | | 110,383 |

Kebutuhan listrik tersebut disuplai dari PLN (Perusahaan Listrik Negara).

Namun, terdapat sebuah *generator* mandiri sebagai cadangan jika terjadi pemadaman listrik oleh PLN mendadak.

Generator Cadangan

A. Kapasitas *Generator*

Efisiensi *generator* = 80%

Kapasitas = Total kebutuhan listrik/efisiensi

= 138 kW

B. Kebutuhan Bahan Bakar *Generator*

Sebagai bahan bakar digunakan IDO (*Industrial Diesel Oil*) yang digunakan dalam peralatan *generator* Spesifikasi

Heat value = 250000 Btu/al

Derajat API = 22 - 28 °API

Densitas = 1 Kg/L

Viskositas = 1 Cp

Kebutuhan bahan bakar = ((kapasitas) x (1 Btu/jam/0,00029307 kW))/Heat Value
= 1,88 gal/min
= 7,13 lt/jam

C. Dimensi Tangki Penyimpanan Bahan Bakar

Jenis = Silinder tegak

Jumlah solar = 7,13 lt/jam
= 0,007 m³/jam
= 0,17 m³/jam

Waktu penyimpanan = 14 hari

Volume tangki (V) = Jumlah solar x waktu penyimpanan
= 2,4 m³

Dirancang *over design* 20% dengan D = H, maka :

V = 2,87 m³

D = 1,5 m

H = 3 m

5.4. Unit Penyediaan Udara Tekan (Instrument Air System)

Unit Penyediaan Udara Tekan bertugas memenuhi kebutuhan udara tekan untuk alat-alat yang bekerja dengan prinsip pneumatic terutama alat-alat kontrol. Pada dasarnya, proses yang terjadi pada unit ini adalah mengurangi berat jenis udara dari kandungan kondensat sebelum masuk ke unit instrumen udara. Kebutuhan udara tekan diperkirakan sebesar 2 m³/jam dengan tekanan 4 bar.

5.5. Unit Pengolahan Limbah

Pabrik fenol ini menghasilkan limbah buangan baik yang berasal dari proses produksi, utilitas maupun kegiatan-kegiatan lain. Untuk itu, perlu dilakukan

pengolahan terhadap limbah-limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan sehingga tidak merusak lingkungan sekitar. Limbah yang dihasilkan dari pabrik butil oleat ini terdiri limbah cair dan padatan. Pengolahan limbah tersebut harus disesuaikan dengan jenis limbahnya. Proses pengolahan limbah pada pabrik ini adalah sebagai berikut.

A. Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan berasal dari air proses, utilitas dan sanitasi. Pengolahan limbah cair harus memperhatikan parameter air buang yang sesuai dengan peraturan pemerintah, yaitu:

- 1) COD : maks. 100 mg/l
- 2) BOD : maks. 20 mg/l
- 3) TSS : maks. 80 mg/l
- 4) Oil : maks. 5 mg/l
- 5) pH : 6,5 - 8,5

Pengolahan untuk masing-masing limbah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Limbah Air Proses

Pengolahan air berminyak yang berasal dari buangan alat proses dilakukan dengan pemisahan berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Minyak akan berada di bagian atas dan dialirkan ke penampungan minyak untuk kemudian dibakar di dalam tungku pembakar. Sedangkan air yang berada di bagian bawah dialirkan ke penampungan akhir untuk kemudian dibuang.

2. Limbah Utilitas

Air sisa regenerasi pada proses demineralisasi pada unit utilitas dinetralkan dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4) jika pH air buangan lebih dari 7,0. Namun jika pH buangannya kurang dari 7,0 maka perlu ditambahkan NaOH. Air hasil dari proses penetralan kemudian dialirkan ke kolam penampungan akhir.106

3. Limbah Sanitasi

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

B. Limbah Padat

Limbah padat berasal dari proses proses pengolahan air (*water treatment system*) pada unit utilitas. Limbah padat tersebut berupa lumpur yang banyak mengandung padatan yang sering disebut sludge. Lumpur tersebut dapat diolah menjadi abu dengan kadar 0,3% melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

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

| Spesifikasi Kode | Pompa Utilitas | | | |
|-------------------------------------|--|--|---|---|
| | P-01 | P-02 | P-03 | P-04 |
| Fungsi | Mengalirkan air sungai menuju bak pengendap awal | Mengalirkan air dari bak pengendap awal menuju bak clarifier | Mengalirkan air dari <i>clarifier</i> menuju bak saringan pasir | Mengalirkan air dari bak saringan pasir menuju bak air bersih |
| Jenis | <i>Centrifugal pump</i> | <i>Centrifugal pump</i> | <i>Centrifugal pump</i> | <i>Centrifugal pump</i> |
| <i>Impeller</i> | <i>Mixed flow impeller</i> | <i>Mixed flow impeller</i> | <i>Radial flow impeller</i> | <i>Radial flow impeller</i> |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Kapasitas (gal/min) | 127 | 211 | 115 | 115 |
| Rate volumetrik (m ³ /s) | 0,284 | 0,270 | 0,257 | 0,256 |
| Kecepatan aliran (ft/s) | 5,546 | 5,282 | 5,031 | 5,012 |
| ID (m) | 0,078 | 0,077 | 0,077 | 0,077 |
| OD (m) | 0,089 | 0,088 | 0,088 | 0,088 |
| IPS (m) | 0,076 | 0,076 | 0,076 | 0,076 |
| Flow area (m ²) | 0,187 | 0,187 | 0,187 | 0,187 |
| Efisiensi (hp) | 82% | 82% | 81% | 81% |
| Power pompa (hp) | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,7 |
| Power motor (hp) | 2 | 2 | 2 | 2 |

Tabel 5. 6 Spesifikasi Pompa Utilitas

| Spesifikasi Kode | Pompa Utilitas | | | |
|-------------------------------------|---|--|--|--|
| | P-05 | P-06 | P-07 | P-08 |
| Fungsi | Mengalirkan air dari bak air bersih menuju tangki deklorinasi | Mengalirkan air dari dasar menuju <i>cooling tower</i> | Mengalirkan air dari tangki umpan boiler menuju <i>waste heat boiler</i> | Mengalirkan air dari tangki kondensat menuju tangki umpan boiler |
| Jenis | Centrifugal pump | Centrifugal pump | Centrifugal pump | Centrifugal pump |
| Impeller | Mixed flow impeller | Axial flow impeller | Mixed flow impeller | Mixed flow impeller |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Kapasitas (gal/min) | 109 | 718 | 94 | 45 |
| Rate volumetrik (m ³ /s) | 0,244 | 1,604 | 0,210 | 0,101 |
| Kecepatan aliran (ft/s) | 4,774 | 4,619 | 4,107 | 3,051 |
| ID (m) | 0,077 | 0,202 | 0,077 | 0,062 |
| OD (m) | 0,088 | 0,219 | 0,088 | 0,073 |
| IPS (m) | 0,076 | 0,203 | 0,076 | 0,063 |
| Flow area (m ²) | 0,187 | 1,27 | 0,187 | 0,121 |
| Efisiensi (hp) | 81% | 86% | 86% | 80% |
| Power pompa (hp) | 1,6 | 7 | 1,3 | 0,5 |
| Power motor (hp) | 2 | 7,5 | 1,5 | 0,75 |

Tabel 5.6 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas

1.2 Bak Pengendap Awal

Tabel 5. 7 Spesifikasi Bak Pengendap Awal

| | | |
|-----------------------------|---|----------------|
| Fungsi | Mengendapkan kotoran kasar yang terbawa oleh air sungai | |
| Kapasitas (m ³) | 2.647 | m ³ |
| Jenis bahan | Bak persegi panjang dengan beton bertulang | |
| Panjang (m) | 58 | m |
| Lebar (m) | 12 | m |
| Tinggi (m) | 4 | m |
| Jumlah | 1 | unit |

1.3 Bak Campur

Tabel 5. 8 Spesifikasi Bak Campur

| | | |
|-----------------------------|--|----------------|
| Fungsi | Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurang kesadahan | |
| Kapasitas (m ³) | 3,5 | m ³ |
| Jenis bahan | Bak persegi panjang dengan beton bertulang | |
| Diameter (m) | 2 | m |
| Tinggi (m) | 3,3 | m |
| Tinggi cairan (m) | 1,4 | m |
| Jumlah blade | 6 | buah |
| Kecepatan putar | 114 | rpm |

| | | |
|-------------------|--------------|------|
| Diameter impeller | 0,549 | m |
| Efisiensi motor | 80% | |
| Bahan | Carbon Steel | |
| Jumlah | 1 | unit |

1.4 Clarifier

Tabel 5. 9 Spesifikasi Clarifier

| | | |
|-----------------------------|--|----------------|
| Fungsi | Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurang kesadahan | |
| Kapasitas (m ³) | 877 | m ³ |
| Waktu tinggal | 4 | jam |
| Jenis bahan | Bak persegi panjang dengan beton bertulang | |
| Diameter (m) | 12 | m |
| Tinggi (m) | 7 | m |
| Jumlah | 1 | unit |
| Jumlah blade | 6 | buah |
| Kecepatan putar | 75 | rpm |
| Daya motor | 1,5 | hp |

1.5 Bak Saringan Pasir

Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Saringan Pasir

| | | |
|-----------------------------|--|----------------|
| Fungsi | Menyaring kotoran kotoran yang masih terbawa air dari <i>clarifier</i> | |
| Kapasitas (m ³) | 6,1 | m ³ |

| | | |
|-----------------|--|------|
| Jenis bahan | Bak persegi panjang dari <i>carbon steel</i> | |
| Panjang (m) | 5,2 | m |
| Lebar (m) | 5,2 | m |
| Luas aliran (m) | 27 | m |
| Jumlah | 1 | unit |

1.6 Bak Air Bersih

Tabel 5. 11 Spesifikasi Bak Air Bersih

| | | |
|-----------------------------|---|----------------|
| Fungsi | Mengendapkan menampung air bersih dari saringan pasir | |
| Kapasitas (m ³) | 800 | m ³ |
| Jenis bahan | Bak persegi panjang dengan beton bertulang | |
| Panjang (m) | 24 | m |
| Lebar (m) | 8 | m |
| Tinggi (m) | 4 | m |
| Jumlah | 1 | unit |

1.7 Bak Air minum

Tabel 5. 12 Spesifikasi Bak Air Minum

| | | |
|-----------------------------|---|----------------|
| Fungsi | Menampung air untuk kantor pelayanan dan rumah tangga | |
| Kapasitas (m ³) | 43 | m ³ |

| | | |
|-------------|--|------|
| Jenis bahan | Bak persegi panjang dengan beton bertulang | |
| Panjang (m) | 5,72 | m |
| Lebar (m) | 1,9 | m |
| Tinggi (m) | 4 | m |
| jumlah | 1 | unit |

1.8 Cooling Tower

Tabel 5. 13 *Cooling Tower*

| | | | |
|--------------------------|--|----------------------|---|
| Fungsi | Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai pendingin | | |
| Jenis | <i>Counter flow induced draft cooling tower</i> | | |
| Kapasitas | 1.248 | m ³ /hari | |
| Kondisi operasi | | | |
| Suhu | Suhu masuk | 50 | C |
| | Suhu keluar | 30 | C |
| Tekanan | 1 | atm | |
| Dimensi | | | |
| Tinggi | 12 | m | |
| Panjang | 10 | m | |
| Diameter | 10 | m | |
| Luas | 106 | m ² | |
| Bahan konstruksi | <i>Stainless steel</i> | | |
| Jumlah | 1 | unit | |
| Spesifikasi motor | | | |
| Daya motor fan | 40 | hp | |

1.9 Tangki Kation

Tabel 5. 14 Spesifikasi Tangki Kation

| | | |
|------------------|--|----------------|
| Fungsi | Menghilangkan mineral (ion negatif) yang masih terkandung di dalam air | |
| Jenis | Tangki silinder tegak | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> | |
| Kapasitas resin | 4,7 | m ³ |
| Jumlah | 2 | unit |
| Dimensi | | |
| Tinggi | 4,1 | m ³ |
| Diameter | 1,8 | m ³ |

1.10 Tangki NaCl

Tabel 5. 15 Spesifikasi Tangki NaCl

| | | |
|------------------------|---|----------------|
| Fungsi | Melarutkan NaCl sebagai umpan regenerasi penukar kation | |
| Kapasitas | 0,28 | m ³ |
| Bentuk | Tangki silinder tegak berpengaduk | |
| Dimensi Tangki | | |
| Diameter | 0,7 | m |
| Tinggi | 1,7 | m |
| Tinggi cairan | 1 | m |
| Sistem Pengaduk | | |
| Jenis | <i>Flat blade turbine</i> | |
| Jumlah blade | 6 | buah |
| Kecepatan putar | 281 | rpm |

| | | |
|-------------------|---------------------|------|
| Diameter impeller | 0,2 | m |
| Power motor | 0,5 | hp |
| Efisiensi motor | 80% | |
| Bahan | <i>Carbon steel</i> | |
| Jumlah | 1 | unit |

1.11 Tangki Anion

Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki NaCl

| | | |
|------------------|--|----------------|
| Fungsi | Menghilangkan mineral (ion negatif) yang masih terkandung di dalam air | |
| Jenis | Tangki silinder tegak | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> | |
| Kapasitas resin | 1,51 | m ³ |
| Jumlah | 2 | unit |
| Dimensi | | |
| Tinggi | 2,81 | m ³ |
| Dimensi | 1,2 | m ³ |

1.12 Tangki NaOH

Tabel 5. 17 Spesifikasi Tangki NaOH

| | | |
|-----------------------|---|----------------|
| Fungsi | Melarutkan NaCl sebagai umpan regenerasi penukar kation | |
| Kapasitas | 0,0904 | m ³ |
| Bentuk | Tangki silinder tegak berpengaduk | |
| Dimensi Tangki | | |
| Diameter | 0,5 | m |

| | | |
|------------------------|---------------------------|------|
| Tinggi | 1,2 | m |
| Tinggi cairan | 0,5 | m |
| Sistem Pengaduk | | |
| Jenis | <i>Flat blade turbine</i> | |
| Jumlah blade | 6 | buah |
| Kecepatan putar | 410 | rpm |
| Diameter impeller | 0,2 | m |
| Power motor | 0,33 | hp |
| Efisiensi motor | 80% | |
| Bahan | <i>Carbon steel</i> | |
| Jumlah | 1 | unit |

1.13 Tangki Umpan Boiler

Tabel 5. 18 Spesifikasi Tangki Umpan Boiler

| | | |
|------------------|-----------------------------------|----------------|
| Fungsi | Menyimpan air umpan boiler selama | |
| Jenis | Tangki silinder tegak | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> | |
| Jumlah | 1 | unit |
| Dimensi | | |
| Panjang | 12 | m ³ |
| Dimensi | 4 | m ³ |

1.14 Kondensor

Tabel 5. 19 Spesifikasi Kondensor

| | | |
|------------------|----------------------------|----------------|
| Fungsi | Menampung kondensat selama | |
| Jenis | Tangki silinder horizontal | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> | |
| Jumlah | 1 | unit |
| Dimensi | | |
| Panjang | 10 | m ³ |
| Dimensi | 3 | m ³ |

1.15 Boiler

Tabel 5. 20 Spesifikasi Boiler

| | | |
|------------------|---|-------------------|
| Fungsi | Membuat steam jenuh pada tekanan 4,76 bar | |
| Jenis | Boiler lorong api | |
| Bahan konstruksi | <i>Stainless steel</i> | |
| Dimensi | | |
| ID | 1,73 | m |
| OD | 0,09 | m |
| a" | 0,28 | m ² /m |
| L | 0,36 | m |
| A | 1996 | m ² /m |
| Jumlah pipa | 20101 | buah |

1.16 Udara

Tabel 5. 21 Spesifikasi Udara

| | | | |
|----------------------|--|---------------------------|------------------------------------|
| Fungsi | Kompresor sentrifugal | | |
| Tugas | Menekan udara yang diinginkan dan mengubah tekanan menjadi yang diinginkan | | |
| Volume | 0,58 | m ³ | |
| Spesifikasi | | | |
| Jumlah stage | 3 | | |
| Daya penggerak | 0,16 | hp | |
| Suhu | 177 | C | |
| Tangki Silika | | Tangki Udara Tekan | |
| Jenis | Silinder tegak dengan torispherical top dan bottom | Jenis | Silinder horizontal |
| Tugas | Menghilangkan uap air yang masih terkandung dalam udara | Tugas | Menampung udara tekan selama 2 jam |
| Volume (m3) | 0,373 | Volume (m ³) | 0,504 |
| Diameter (m) | 0,780 | Diameter (m) | 0,598 |
| Tinggi (m) | 1,561 | Panjang (m) | 1,794 |

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Suatu pabrik memerlukan evaluasi ekonomi yang bertujuan untuk mengetahui mengetahui apakah pabrik yang didirikan menguntungkan, layak berdiri dan mendapatkan kelayakan investasi modal dalam suatu kegiatan produksi dalam meninjau kebutuhan modal investasi, besar keuntungan yang diperoleh, lama modal investasi yang dapat dikembalikan, dan titik terjadinya impas yaitu total biaya produksi sama dengan keuntungan yang diperoleh. Berikut merupakan faktor-faktor yang dapat ditinjau dalam evaluasi ekonomi :

- a. *Return On Investment (ROI)*
- b. *Pay Out Time (POT)*
- c. *Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)*
- d. *Break Even Point (BEP)*
- e. *Shut Down Point (SDP)*

Sebelum dilakukan analisa terhadap kelima faktor tersebut, maka perlu dilakukan perkiraan terhadap beberapa hal, seperti :

- a. Penentuan modal industri (*Fixed capital investment*), meliputi :
 1. Modal tetap (*fixed capital investment*)
 2. Modal kerja (*working capital investment*)
- b. Penentuan total biaya produksi (*Total production cost*), meliputi :
 1. Biaya pembuatan (*Manufacturing cost*)
 2. Biaya pengeluaran umum (*General expenses*)

c. Pendapatan Modal

Perkiraan yang perlu diperlukan untuk mengetahui titik impas, adalah sebagai berikut :

1. Biaya tetap per tahun (*Fixed cost annual*)
2. Biaya variable per tahun (*Variable cost annual*)
3. Biaya mengambang (*Regulated cost annual*)

6.1. Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan akan berubah setiap tahun tergantung dengan kondisi ekonomi yang mempengaruhinya. Sehingga untuk mengetahui harga peralatan diperlukan metode atau cara untuk memperkirakan harga alat tertentu. Untuk mencari harga pada tahun tertentu dengan mencari tahu terlebih dahulu harga indeks peralatan operasi pada tahun tersebut.

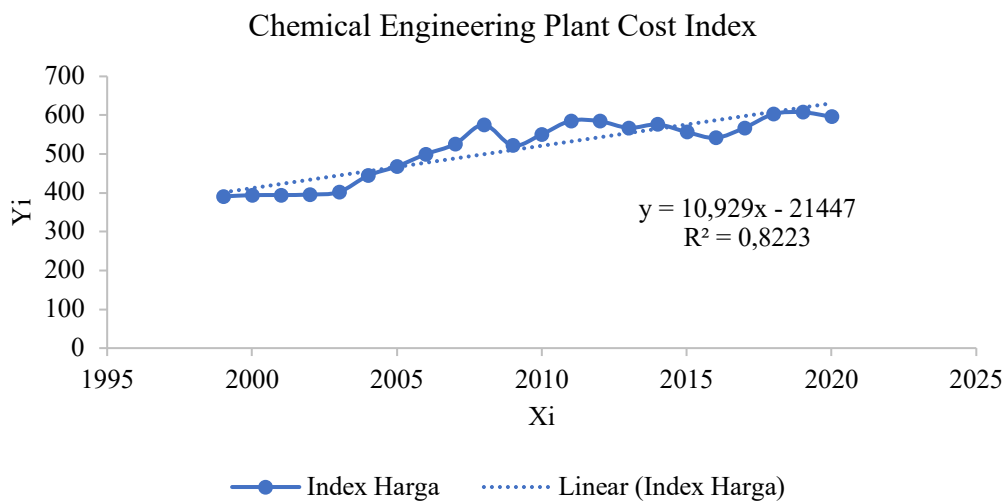
Indeks harga tahun 2027 diperkirakan dengan garis linier menggunakan data indeks harga dari tahun 1999 sampai 2020, sebagai berikut :

Tabel 6. 1 Indeks harga tahun 1999-2020

| No | (Xi) | Indeks (Yi) |
|----|------|-------------|
| 1 | 1999 | 390.6 |
| 2 | 2000 | 394.1 |
| 3 | 2001 | 394.3 |
| 4 | 2002 | 395.6 |
| 5 | 2003 | 402 |
| 6 | 2004 | 444.2 |
| 7 | 2005 | 468.2 |
| 8 | 2006 | 499.6 |
| 9 | 2007 | 525.4 |
| 10 | 2008 | 575.4 |
| 11 | 2009 | 521.9 |
| 12 | 2010 | 550.8 |
| 13 | 2011 | 585.7 |
| 14 | 2012 | 584.6 |
| 15 | 2013 | 567.3 |

| No | (Xi) | Indeks (Yi) |
|----|------|-------------|
| 16 | 2014 | 576.1 |
| 17 | 2015 | 556.8 |
| 18 | 2016 | 541.7 |
| 19 | 2017 | 567.5 |
| 20 | 2018 | 603.1 |
| 21 | 2019 | 607.5 |
| 22 | 2020 | 596.2 |

Sumber: www.chemengonline.com/pci



Gambar 6. 1 Grafik Hubungan antara Tahun dan Indeks Harga

Dengan asumsi kenaikan indeks linear, berdasarkan data di atas maka didapatkan persamaan berikut :

$$y = 10,929x - 21.447 \quad (6.1)$$

Dimana :

y = indeks harga

x = tahun pembelian

Dari persamaan di atas didapat harga indeks pada tahun 2027 adalah 706,083.

Harga alat pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga pada tahun referensi dikalikan dengan rasio index harga (Aries dan Newton, 1955).

$$E_x = E_y \frac{N_x}{N_y} \quad (6.2)$$

Dimana :

E_x : Harga alat pada tahun pembelian

E_y : Harga alat pada tahun referensi

N_x : Indeks harga pada tahun pembelian

N_y : Indeks harga pada tahun referensi

Berdasarkan nilai CEP indeks tersebut, dapat ditentukan harga alat proses dan alat utilitas sebagai berikut:

Tabel 6. 2 Perhitungan Harga Alat Proses

| Nama Alat | Qty | Price | Cost | Year | CEP | CEP 2027 | Cost | Sumber |
|---|------------|--------------|---------------|-------------|------------|---------------------|-------------|---------------|
| Tangki Asam Klorida (HCl) | 1 | \$ 90.200 | \$ 90,300 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 110,674 | Matche |
| Tangki Benzene (C ₆ H ₆) | 1 | \$ 27,300 | \$ 27,300 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 33,460 | Matche |
| Tangki Fenol (C ₆ H ₅ OH) | 1 | \$ 77,080 | \$ 77,080.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 94,471 | Matche |
| Reaktor 1 | 1 | \$ 80,875 | \$ 80,875 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 99,122 | Matche |
| Reaktor 2 | 1 | \$ 33,800 | \$ 79,300 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 97,192 | Matche |
| Separator | 1 | \$ 87,000 | \$ 87,000 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 106,629 | Matche |
| Absorber | 1 | \$ 204,800 | \$ 204,800.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 251,008 | Matche |
| Menara Distilasi Benzene | 1 | \$ 290,500 | \$ 290,500 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 356,044 | Matche |
| Menara Distilasi Klorobenzene | 1 | \$ 197,034 | \$ 197,034 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 241,490 | Matche |
| Air Filter | 1 | \$ 9,170 | \$ 9,170.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 11,239 | Matche |
| Blower | 1 | \$ 6,300 | \$ 6,300.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 7,721 | Matche |
| Vaporizer | 1 | \$ 90,500 | \$ 90,500.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 110,919 | Matche |
| Vaporizer | 1 | \$ 55,000 | \$ 55,000.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 67,409 | Matche |
| Separator | 1 | \$ 71,900 | \$ 71,900 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 88,122 | Matche |

| Nama Alat | Qty | Price | Cost | Year | CEP | CEP 2027 | Cost | Sumber |
|-------------------|------------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------------|-------------|---------------|
| Separator | 1 | \$ 3,200 | \$ 3,200 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 3,922 | Matche |
| Heater | 1 | \$ 5,500 | \$ 5,500 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 6,741 | Matche |
| Heater | 1 | \$ 7,500 | \$ 7,500.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 9,192 | Matche |
| Heater | 1 | \$ 6,100 | \$ 6,100 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 7,476 | Matche |
| Heater | 1 | \$ 89,200 | \$ 89,200 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 109,326 | Matche |
| Heater | 1 | \$ 27,500 | \$ 27,500 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 33,705 | Matche |
| Condensor parsial | 1 | \$ 26,300 | \$ 26,300.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 32,234 | Matche |
| Condensor | 1 | \$ 47,850 | \$ 47,850.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 58,646 | Matche |
| Condensor | 1 | \$ 26,680 | \$ 26,680.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 32,700 | Matche |
| Accumualtor | 1 | \$ 49,870 | \$ 49,870.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 61,122 | Matche |
| Accumualtor | 1 | \$ 29,900 | \$ 29,900.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 36,646 | Matche |
| Reboiler | 1 | \$ 33,800 | \$ 33,800.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 41,426 | Matche |
| Reboiler | 1 | \$ 47,500 | \$ 47,500.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 58,217 | Matche |
| Cooler | 1 | \$ 28,770 | \$ 28,770.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 35,261 | Matche |
| Cooler | 1 | \$ 21,600 | \$ 21,600.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 26,474 | Matche |
| Cooler | 1 | \$ 25,500 | \$ 25,500.00 | 2015 | 576.1 | 706.083 | \$ 31,253 | Matche |

| Nama Alat | Qty | Price | Cost | Year | CEP | CEP 2027 | Cost | Sumber |
|------------------|------------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------------|--------------|---------------|
| Pump | 2 | \$ 7,500 | \$ 15,000.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 18,384 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 35,600 | \$ 71,200.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 87,265 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 9,700 | \$ 19,400.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 23,777 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 6,300 | \$ 12,600.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 15,443 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 9,500 | \$ 19,000.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 23,287 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 7,500 | \$ 15,000.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 18,384 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 8,800 | \$ 17,600.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 21,571 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 7,700 | \$ 15,400.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 18,875 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 6,780 | \$ 13,560.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 16,619 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 6,600 | \$ 13,200.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 16,178 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 8,100 | \$ 16,200.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 19,855 | Matche |
| Pump | 2 | \$ 9,120 | \$ 18,240.00 | 2014 | 576.1 | 706.083 | \$ 22,355 | Matche |
| Total | 55 | | | 2014 | | 706.083 | \$ 2,680,724 | |

6.2. Dasar Perhitungan

Dasar perhitungan yang digunakan dalam analisis ekonomi pabrik fenol adalah:

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Kapasitas pabrik | = 7,000 ton/tahun |
| Satu tahun operasi | = 330 hari |
| Umur pabrik | = 10 tahun |
| Tahun pendirian pabrik | = 2027 |
| Kurs mata uang | = 1 US\$ = Rp 16.486 |
| Harga bahan baku (Benzene) | = Rp 3.833.454.240.000 /tahun |
| Harga bahan baku (Asam Klorida) | = Rp 2.863.872.000.000 /tahun |
| Harga produk utama (Fenol) | = Rp 7.745.623.438.769 /tahun |

6.3. Perhitungan Biaya

a. *Total Capital Investment*

Capital investment merupakan jumlah pengeluaran yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik dan untuk mengoperasikan pabrik (Peters dan Timmerhaus, 2004). *Capital investment* terdiri dari:

1. *Fixed Capital Investment*

Fixed capital investment merupakan biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas suatu pabrik (Peters dan Timmerhaus, 2004). Selanjutnya, melakukan perhitungan rencana maka pabrik fenol ini memerlukan rencana *physical plant cost*, *direct plant cost*, *fixed capital instrument*.

2. *Working Capital Investment*

Working capital investment merupakan biaya yang diperlukan untuk menjalankan usaha atau modal dari suatu pabrik selama waktu tertentu.

b. *Manufacturing Cost*

Manufacturing Cost merupakan jumlah yang diperlukan untuk kegiatan produksi suatu produk. *Manufacturing Cost* adalah jumlah dari *Direct*, *Indirect* dan *Fixed Manufacturing Cost*, yang bersangkutan dalam pembuatan produk. Menurut Aries and Newton, 1955 *Manufacturing Cost* meliputi :

1. *Direct Cost*

Direct cost merupakan biaya pengeluaran yang berhubungan langsung dalam proses pembuatan suatu produk.

2. *Indirect Cost*

Indirect cost merupakan biaya pengeluaran sebagai akibat tidak langsung karena operasi suatu pabrik.

3. *Fixed Manufacturing Cost*

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

c. *General Expenses*

General Expenses atau pengeluaran umum merupakan biaya pengeluaran yang berkaitan dengan fungsi perusahaan dan tidak termasuk *manufacturing cost*. *General Expenses* meliputi :

1. *Administrasi*

Biaya yang termasuk dalam administrasi seperti : management salaries, legal fees and auditing, dan biaya peralatan kantor. Besarnya biaya administrasi diperkirakan 2-3% hasil penjualan atau 3-6% dari *manufacturing cost*.

2. *Sales*

Pengeluaran yang dilakukan mengenai penjualan produk, misalnya biaya distribusi dan iklan. Besarnya biaya sales diperkirakan 3-12% harga jual atau 5-22% dari *manufacturing cost*. Untuk produk standar kebutuhan *sales expense* kecil dan untuk produk baru yang perlu diperkenalkan *sales expense* besar.

3. *Riset*

Penelitian diperlukan untuk menjaga mutu dan inovasi ke depan. Untuk industri kimia, dana riset sebesar 2,8% dari hasil penjualan.

d. Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan merupakan suatu perancangan pabrik yang dilakukan untuk mengetahui keuntungan yang akan diperoleh tergolong besar atau tidak, sehingga dapat dikatakan pabrik tersebut potensial atau tidak. Studi kelayakan dari pabrik fenol dilihat dari parameter-parameter ekonomi. Berikut beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan kelayakan adalah :

1. ***Return On Investment (ROI)***

Return on investment adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang telah dikeluarkan. Syarat ROI sebelum pajak

untuk pabrik kimia dengan risiko tinggi minimum adalah 44% (Aries dan Newton, 1955). Persamaan yang digunakan untuk menghitung percent return on investment adalah :

$$ROI = \frac{Keuntungan}{Fixed\ Capital} \times 100\% \quad (6.3)$$

Profit suatu pabrik dapat dihitung berdasarkan *annual sales* (Sa) dan total *manufacturing cost*. *Finance* dapat dikatakan sebagai komponen yang berisikan pengembalian hutang selama pembangunan pabrik. Kondisi pabrik dengan risiko rendah mempunyai minimum ROI before tax sebesar 11%, sedangkan dalam pabrik dengan resiko tinggi mempunyai minimum ROI before tax sebesar 44%.

2. *Pay Out Time (POT)*

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

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{Keuntungan\ Tahunan + Depresiasi} \quad (6.4)$$

Pada pabrik dengan risiko rendah mempunyai nilai POT maksimal 5 tahun, sedangkan pada pabrik dengan risiko tinggi mempunyai nilai POT maksimal 2 tahun.

3. *Break Event Point (BEP)*

Break even point merupakan titik impas dimana pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Dalam kondisi ini kapasitas produksi

pada saat sales sama dengan *total cost*. Pabrik akan keuntungan apabila beroperasi di atas nilai BEP dan akan mengalami kerugian apabila beroperasi di bawah nilai BEP. Pada umumnya, nilai BEP memiliki nilai berkisar antara 40% - 60%. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *break even point* sebagai berikut :

$$BEP = \frac{Fa + 0,3 Ra}{(Sa - Va - 0,7 Ra)} \times 100\% \quad (6.5)$$

Keterangan :

Fa = *Annual fixed manufacturing cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual regulated expenses* pada produksi maksimum

Sa = *Annual variable value* pada produksi maksimum

Va = *Annual sales value* pada produksi maksimum

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

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

4. ***Shut Down Point (SDP)***

Shut down point adalah tingkat produksi di mana biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal daripada biaya untuk

menutup pabrik dan membayar *fixed cost*. Persamaan untuk menghitung SDP adalah sebagai berikut :

$$SDP = \frac{0,3 \times 332.754.994.287}{(Sa - Va - 0,7 Ra)} \times 100\% \quad (6.6)$$

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

Discounted cash flow rate of return merupakan perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahunnya. Berdasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *discounted cash flow rate of return* adalah sebagai berikut :

$$(FC + WC)(1 + i)^n = \sum_{n=0}^{n-1} C(1 + i)^n + SV \quad (6.7)$$

Keterangan :

FC = *Fixed capital*

WC = *Working capital*

SV = *Salvage value*

C = *Cash flow*

= (keuntungan setelah pajak + depresiasi + finance)



n = Umur pabrik




I = Nilai DCFR

6.4. Hasil Perhitungan

Dalam mendirikan pabrik fenol memerlukan perencanaan keuangan dan analisis yang baik untuk meninjau apakah pabrik yang akan didirikan layak untuk didirikan atau tidak.

Tabel 6. 3 Identifikasi Resiko Pabrik berdasarkan Hazard Bahan

| No | Komponen | Hazard | | | | | | Keterangan |
|----|---|---------------|-----------|-------|-----------|----------|-----------|------------------|
| | | Health Hazard | Flammable | Toxic | Corrosive | Irritant | Oxidizing | |
| 1 | Benzene  | √ | √ | - | - | √ | - | <i>High risk</i> |
| 2 | Asam Klorida  | - | - | - | √ | √ | - | <i>Low risk</i> |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------|
| 3 | Oksigen  | - | - | - | - | - | √ | <i>Low risk</i> |
| 4 | Klorobenzene  | - | √ | - | - | √ | - | <i>High risk</i> |
| 5 | Fenol  | √ | √ | - | √ | - | - | <i>Low risk</i> |

Identifikasi Hazard Proses

Berikut ini disajikan table parameter kondisi operasi dari alat proses yang dijadikan dasar untuk melakukan proses hazard analysis berdasarkan kondisi yang paling berbahaya pada pabrik fenol.

Tabel 6. 4 Identifikasi Resiko Pabrik Berdasarkan Proses

| No | Alat | Tekanan, atm Suhu, C | Keterangan | Golongan |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------------|---|-----------------|
| 1 | Reaktor Oksiklorinasi (R-01) | 1,5 190 | Reaktor oksiklorinasi (R-01) merupakan unit untuk mensintesis benzene menjadi klorobenzene. Reaksi yang terjadi pada reaktor ini bersifat eksotermis. Produk yang | <i>Low risk</i> |

| | | | | |
|---|------------------------------|------------|---|------------------|
| | | | dihasilkan adalah klorobenzene yang bersifat flammable. | |
| 2 | Reaktor Hidrolisis (R-02) | 1,5 430 | Reaktor hidrolisis (R-02) merupakan unit untuk mensintesis klorobenzene menjadi produk fenol. Reaksi yang terjadi pada reaktor ini bersifat endotermis. Produk yang dihasilkan adalah fenol yang bersifat flammable dan corrosive | <i>High risk</i> |
| 3 | Menara Distilasi (MD-01) | 1 92,41 | Menara distilasi ini bertugas untuk memisahkan produk fenol dari impurities | <i>Low risk</i> |

| | | | | |
|---|-----------------------------|-------------|---|-----------------|
| | | | berupa benzene, klorobenzene, dan sedikit ait. Hasil atas produk ini adalah benzene. | |
| 4 | Menara Distilasi (MD-02) | 1 100,94 | Menara distilasi ini bertugas untuk memisahkan produk fenol dari impurities berupa sedikit benzene, klorobenzene, dan sedikit ait. Hasil atas produk ini adalah klorobenzene dan air. | <i>Low risk</i> |

Tabel 6. 5 *Physical Plant Cost*

| No | <i>Type of Capital Investment</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|---|--|------------------------|-------------------|
| 1 | PPC Alat Proses | 129.826.553.005 | 7.874.958 |
| 2 | PPC Alat Utilitas | 69.401.528.492 | 4.209.725 |
| 3 | Bangunan | 38.173.757.888 | 2.315.526 |
| 4 | Tanah | 16.800.000.000 | 1.019.046 |
| <i>Physical Plant Cost (PPC)</i> | | 254.201.839.384 | 15.419.255 |

Tabel 6. 6 *Direct Plant Cost*

| No | <i>Type of Capital Investment</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|---------------------------------|--|------------------------|-------------------|
| 1 | Instalasi | 32.085.421.365 | 1.946.222 |
| 2 | Instrumentasi dan Kontrol | 11.192.588.848 | 678.915 |
| 3 | Pemipaan | 64.170.842.729 | 3.892.445 |
| 4 | Instalasi Listrik | 11.192.588.848 | 678.915 |
| 5 | Instalasi Isolasi | 5.969.380.719 | 362.088 |
| <i>Total (DPC + PPC)</i> | | 378.812.661.893 | 22.977.839 |

Tabel 6. 7 *Fixed Capital Investment*

| No | <i>Type of Capital Investment</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|--|--|------------------------|-------------------|
| 1 | <i>Direct Plant Cost</i> | 378.812.661.893 | 22.977.839 |
| 2 | <i>Engineering and Construction</i> | 50.840.367.877 | 3.083.851 |
| 3 | <i>Contractor Fee</i> | 18.302.532.436 | 1.110.186 |
| 4 | <i>Contingency Cost</i> | 30.504.220.726 | 1.850.311 |
| <i>Fixed Capital Investment (FCI)</i> | | 413.436.920.602 | 29.022.187 |

Tabel 6. 8 *Direct Manufacturing Cost*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|---|-------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Raw Material</i> | 6.697.381.068.000 | 406.246.577 |
| 2 | <i>Utilities</i> | 390.467.784.570 | 23.684.810 |
| 3 | <i>Labor</i> | 7.755.000.000 | 470.399 |
| 4 | <i>Supervision</i> | 1.938.750.000 | 117.600 |
| 5 | <i>Maintenance</i> | 16.537.476.824 | 1.003.122 |
| 6 | <i>Plant supplies</i> | 2.480.621.524 | 150.468 |
| 7 | <i>Royalties</i> | 59.360.000.000 | 3.600.631 |
| <i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i> | | 7.175.920.700.918 | 435.273.608 |

Tabel 6. 9 *Indirect Manufacturing Cost*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|---|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | <i>Payroll overhead</i> | 1.163.250.000 | 70.560 |
| 2 | <i>Laboratory</i> | 775.500.000 | 47.040 |
| 3 | <i>Plant overhead</i> | 3.102.000.000 | 188.160 |
| 4 | <i>Packaging and shipping</i> | 29.680.000.000 | 1.800.315 |
| <i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i> | | 34.720.750.000 | 2.106.075 |

Tabel 6. 10 *Fixed Manufacturing Cost*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|--|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | <i>Depreciation</i> | 40.468.932.830 | 2.454.745 |
| 2 | <i>Property tax</i> | 16.187.573.132 | 981.898 |
| 3 | <i>Insurance</i> | 8.093.786.566 | 490.949 |
| <i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i> | | 66.149.907.296 | 3.927.593 |

Tabel 6. 11 *Manufacturing Cost*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|---------------------------------------|--|--------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i> | 7.175.920.700.918 | 435.273.608 |
| 2 | <i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i> | 34.720.750.000 | 2.106.075 |
| 3 | <i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i> | 64.750.292.528 | 3.927.593 |
| <i>Manufacturing Cost (MC)</i> | | 7.276.791.358.214 | 441.282.868 |

Tabel 6. 12 *Working Capital*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Raw Material Inventory</i> | 590.654.071.048 | 35.827.616 |
| 2 | <i>In Process Inventory</i> | 109.124.840.313 | 6.619.243 |
| 3 | <i>product Inventory</i> | 606.249.112.850 | 36.773.572 |
| 4 | <i>Available cash</i> | 606.249.112.850 | 36.773.572 |
| 5 | <i>Extended credit</i> | 129.500.585.056 | 7.855.185 |
| <i>Working Capital (WC)</i> | | 2.041.777.722.117 | 123.849.189 |

Tabel 6. 13 *General Expense*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 | <i>Administrasi</i> | 73.394.011.512 | 4.451.899 |
| 2 | <i>Sales</i> | 122.323.352.521 | 7.419.832 |
| 3 | <i>Finance</i> | 48.929.341.008 | 2.967.933 |
| 4 | <i>Research</i> | 85.626.346.765 | 5.193.882 |
| <i>General Expense (GE)</i> | | 330.273.051.806 | 20.033.547 |

Tabel 6. 14 Total Production Cost

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|---|--------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Manufacturing Cost (MC)</i> | 7.274.989.354.200 | 441.282.868 |
| 2 | <i>General Expense (GE)</i> | 330.273.051.806 | 20.033.547 |
| <i>Total Production Cost (TPC)</i> | | 7.605.262.406.006 | 461.316.414 |

Tabel 6. 15 Fixed Cost (Fa)

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | <i>Depreciation</i> | 40.468.932.830 | 2.454.745 |
| 2 | <i>Property taxes</i> | 16.187.573.132 | 981.898 |
| 3 | <i>Insurance</i> | 8.093.786.566 | 490.949 |
| <i>Fixed Cost (Fa)</i> | | 64.750.292.528 | 3.927.593 |

Tabel 6. 16 Variable Cost (Va)

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Raw material</i> | 6.697.381.068.000 | 406.246.577 |
| 2 | <i>Packaging & shipping</i> | 29.680.000.000 | 1.800.315 |
| 3 | <i>Utilities</i> | 390.467.784.570 | 23.684.810 |
| 4 | <i>Royalties and Patents</i> | 59.360.000.000 | 3.600.631 |
| <i>Variable Cost (Va)</i> | | 7.176.888.852.570 | 435.332.334 |

Tabel 6. 17 *Regulated Cost (Ra)*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (Rp) | Harga (\$) |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 | <i>Labor cost</i> | 7.755.000.000 | 470.399 |
| 2 | <i>Plant overhead</i> | 3.102.000.000 | 188.160 |
| 3 | <i>Payroll overhead</i> | 1.163.250.000 | 70.560 |
| 4 | <i>Supervision</i> | 1.938.750.000 | 117.600 |
| 5 | <i>Laboratory</i> | 775.500.000 | 47.040 |
| 6 | <i>Administration</i> | 73.394.011.512 | 4.451.899 |
| 7 | <i>Finance</i> | 48.929.341.008 | 2.967.933 |
| 8 | <i>Sales expense</i> | 122.323.352.521 | 7.419.832 |
| 9 | <i>Research</i> | 85.626.346.765 | 5.193.882 |
| 10 | <i>Maintenance</i> | 16.187.573.132 | 981.898 |
| 11 | <i>Plant supplies</i> | 2.428.135.970 | 147.285 |
| <i>Regulated Cost (Ra)</i> | | 363.623.260.908 | 22.056.488 |

6.5. Hasil Analisis Keuntungan

| | |
|------------------------------|---|
| <i>Annulus sales (Sa)</i> | = Rp 7.742.157.129.314 |
| Total <i>production cost</i> | = Rp 7.605.262.406.006 |
| Keuntungan sebelum pajak | = Rp 136.894.723.308 |
| Pajak pendapatan | = 30 % (Pasal 17 ayat 2a UU No. 36 th 2008) |
| | = Rp 41.068.416.992 |
| Keuntungan setelah pajak | = Rp 95.826.306.316 |

6.6. Hasil Kelayakan Ekonomi

a. *Return On Investment (ROI)*

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

ROI sebelum pajak = 33,83%

ROI setelah pajak = 23,68%

b. Pay Out Time (POT)

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

POT sebelum pajak = 2 tahun

POT setelah pajak = 3 tahun

c. Break Event Point (BEP)

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

BEP = 55,94%

d. Shut Down Point (SDP)

$$SDP = \frac{0,3 \times 332.754.994.287}{(Sa - Va - 0,7 Ra)} \times 100\%$$

SDP = 35,11%

e. Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)

$$(FC + WC)(1 + i)^n = \sum_{n=0}^{n=n-1} (1 + i)^n + WC + SV$$

Umur pabrik = 10 tahun

Fixed Capital Investment = Rp 404.689.328.300

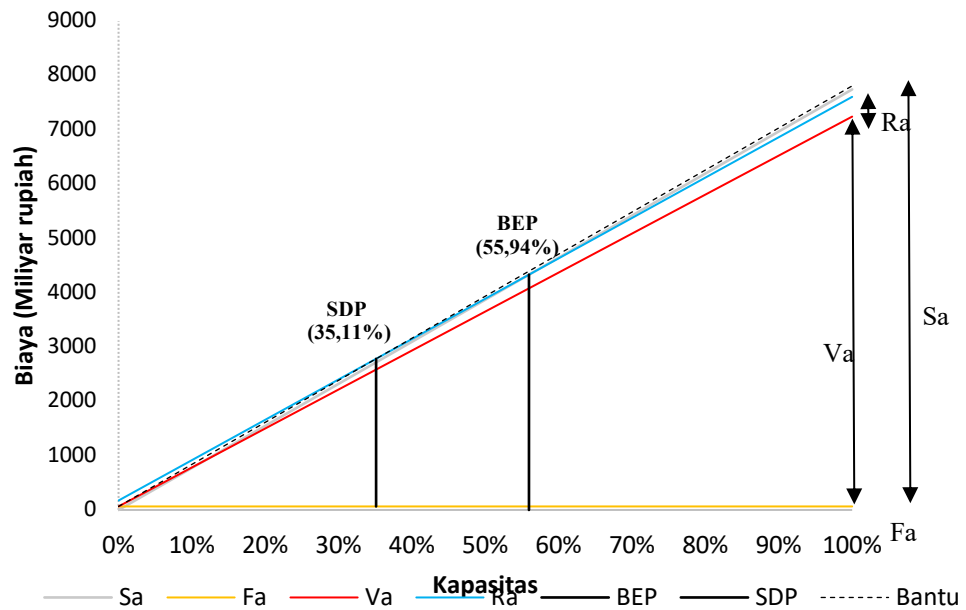
Working Capital = Rp 2.041.777.722.117

Salvage Value (SV) = Rp 40.468.932.830

$$\text{Cash Flow (CF)} = \text{Rp } 185.224.580.154$$

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

$$\text{DCFR} = 11,44\%$$



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

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

Pabrik pembuatan fenol dari proses raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun digolongkan sebagai pabrik berisiko rendah karena tekanan operasi umumnya

sedang yaitu (<10 atm), suhu operasi umumnya sedang yaitu ($<1000^{\circ}\text{K}$), bahan yang digunakan juga umumnya mudah ditangani dan bukan merupakan bahan yang dilarang oleh pemerintah.

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, perancangan pabrik fenol dari proses raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik fenol dari proses raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun direncanakan akan didirikan di daerah Cilacap, Jawa Tengah. Pendirian pabrik bertujuan untuk memenuhi kebutuhan fenol dalam negeri sehingga dapat mengurangi angka impor dari luar negeri, serta menciptakan lapangan kerja baru.
2. Ditinjau dari sifat bahan baku yang tidak berbahaya dan kondisi operasi pada suhu dan tekanan rendah, pabrik fenol berisiko rendah.
3. Berdasarkan hasil analisis ekonomi perancangan pabrik fenol dari proses raschig dengan kapasitas 7.000 ton/tahun didapatkan:
 - a. Keuntungan sebelum pajak
= Rp 136.894.723.308/tahun
 - b. Keuntungan setelah pajak
= Rp 95.826.306.316/tahun
 - c. *Return of investment* sebelum pajak (ROI_b)
= 33,83%. Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan risiko rendah minimum 11%. (Aries & Newton, 1955)

- d. *Return of investment* setelah pajak (ROIa)
= 23,68%
 - e. *Pay Out Time* sebelum pajak (POTb)
= 2 tahun.
 - f. *Pay Out Time* setelah pajak (POTa)
= 3 tahun. Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan risiko rendah maksimum adalah 5 tahun (Aries & Newton, 1955)
 - g. *Break Even Point* (BEP)
= 55,94%. Syarat BEP untuk pabrik kimia pada umumnya 40-60% (Aries & Newton, 1955)
 - h. *Shut Down Point* (SDP)
= 35,11%. Syarat SDP minimum untuk pabrik kimia pada umumnya 20% (Aries & Newton, 1955)
 - i. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR)
= 11,44%. Syarat DCFR minimum untuk pabrik kimia pada umumnya adalah 1,5 x bunga simpanan bank (Aries & Newton, 1955).
4. Dari hasil seluruh tinjauan yang dilakukan mulai dari ketersediaan bahan baku, kondisi operasi proses serta hasil analisis ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik fenol dari proses raschig layak untuk didirikan.

7.2 Saran

Perancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahaman konsep dasar yang dapat meningkatkan kelayakan pabrik untuk didirikan, konsep-konsep tersebut diantaranya :

- a. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan berkembangnya pabrik-pabrik kimia yang lebih ramah lingkungan.
- b. Optimasi pemilihan seperti alat proses atau alat penunjang dan bahan baku perlu diperhatikan sehingga akan lebih mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh.
- c. Pemenuhan bahan baku tergantung dari produksi pabrik yang diperoleh dari produk pabrik lain, maka dari itu perlu adanya kontrak pembelian bahan baku agar permintaan akan bahan baku dapat dipenuhi selama pabrik beroperasi.
- d. Produk fenol dapat digunakan sebagai sarana untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Becker, P. (1989). *Phosphate and Phosphoric Acid, Raw Material, Technology, and Economics of The Wet Process*. 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, 760pp.
- Brown, G. (1978). *Unit Operation*. Tokyo: Mc Graw Hill International Book Company
- Brownell, L. E. (1992). *Equipemnt Design*. New Delhi: Wiley Eastern Limited
- Chien, S. H. (1992). *Reactions of phosphate rock with acid soils of the humid tropics*. Proc. Workshop on Phosphate Sources for Acid Soil in the Humid Tropics of Asia. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Coulson, J. a. (2005). *Chemical Engineering, An Introducing*. Oxford: Pergamon Press.
- Eric HS, Jay PE (1976) *Distilattion in Raschig-Phenol Process*. New York. US patents 3.984.484A
- Geankoplis, C. 1. (2003). *Transport Processes and Unit Operations*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Global phosphoric acid market size, *analysis report, 2020-2027*. Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc.
- Hammond, L. L., and L. A. Leon. (1978). *Agronomic effectiveness of natural and altered phosphate rocks from Latin America*. p. 503 – 518. IMPHOS Proc. 3rd Int. Cong. Phosphorus Compounds 4 – 6 Okt. 1983. Brussels, Belgium.

- Kern, D. (1965). *Process Heat Transfer*. Kogakusha: Mc. Graw Hill Book.
- McClellan, G.H. and Wheeler. (1979). *Mineralogy and Reactivity of Phosphate*
- Moersidi, S. (1999). *Fosfat Alam sebagai Bahan Baku dan Pupuk Fosfat*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor, Bogor, hal 1 – 39.
- McCabe, W. L. (1976). *Unit Operation of Chemical Engineering*, 3rd ed. . Singapore: Mc Graw Hill, Kogakusha , Ltd.
- Mineral commodity summaries 2011. (2011).
- Perry, R. a. (2000). *Perry's Chemical Engineer's Handbook 7ed*. New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Perry, R. a. (2008). *Perry's Chemical Engineer's Handbook 8 ed*. New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Roberto C, Roberto G, Giorgio P. (1981) *Process For The Preparation Of Chlorobenzene*. New York. US patents 4.306.104A
- Thomas, Bewley. (1969) *Extraction Of Phenol*. New York. US patents 3.467.721A.
- Walter HP, Jay PE, Soll JL, Eric HS (1965) *Distillation in Raschig-Phenol Process*. New York. US patents 3.221.063A
- Walter Prah. (1939). *Process For Separating Phenol and Hydrogen Chloride Form The Mixture Of Vapors Obtained By Steam Over a Contact At a Raised Temperature*. New York. US patents 2.156.402A
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health*

Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals,
McGrawHill handbooks.

LAMPIRAN

REAKTOR R-01

Tugas : Mereaksikan benzene dengan katalisator alumina menjadi klorobenzene dan air dengan konversi 15%

Fase Proses : Gas

Jenis : *Fixed Bed Reactor Catalytic*

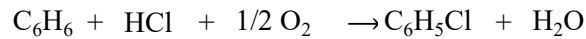
Kondisi Operasi

Tekanan (P): 190 °C

Suhu (T) : 1,5 atm

1. Penyusunan Model Matematis

Reaksi yang terjadi:



Kinetika reaksi:

$$\log\left(\frac{k}{\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}}\right) = 10,5 \text{Exp} \frac{8,2}{2,3R}$$

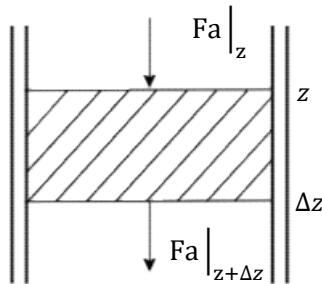
Dengan,

$$R = 0,0820 \text{ L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

$$K = 463 \text{ K}$$

Neraca massa disusun untuk seluruh komponen yang terdapat di dalam reaktor. Komponen yang terlibat adalah N_2 , O_2 , C_6H_6 , HCl , dan H_2O .

Neraca massa seluruh komponen disusun pada elemen volume ($z.Dz$).



Rate of input - rate of output - rate of reaction = accumulation

$$Fa \Big|_z \left(\frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right) - Fa \Big|_{z+\Delta z} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right) + (-ra) \left(\frac{\text{kmol}}{\text{s}} \right) \Delta V (\text{m}^3) = 0$$

$$Fa \Big|_z - Fa \Big|_{z+\Delta z} + (-ra)\Delta V = 0$$

$$Fa \Big|_z - Fa \Big|_{z+\Delta z} + (-ra)\frac{\pi d^2}{4}\Delta z = 0$$

$$Fa \Big|_z - Fa \Big|_{z+\Delta z} = -(-ra)\frac{\pi d^2}{4}\Delta z$$

Kedua ruas dibagi dengan Δz :

$$\frac{Fa|_z - Fa|_{z+\Delta z}}{\Delta z} = -(-ra)\frac{\pi d^2}{4}$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{Fa|_z - Fa|_{z+\Delta z}}{\Delta z} = -(-ra)\frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{dFa}{dz} = -(-ra)\frac{\pi d^2}{4}$$

dimana :

$$Fa = Fa_0 \cdot (1 - xa)$$

$$Fa = Fa_0 - Fa_0 \cdot xa$$

sehingga,

$$\frac{Fa_0 dxa}{dz} = -(-ra)\frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{dxa}{dz} = \frac{-(-ra)\frac{\pi d^2}{4}}{Fa_0}$$

Keterangan :

$\frac{dxa}{dz}$: perubahan konversi persatuan panjang

Fa : kecepatan mol [kmol/s]

z : tebal tumpukan katalis [m]

Id : diameter dalam [m]

(-ra) : kecepatan reaksi [kmol/(m³.s)]

ΔV : elemen volume [m³]

Kemudian untuk mengetahui profil suhu sepanjang reaktor disusun neraca panas pada elemen volume katalis sebesar

Rate of heat in - rate of heat out + heat of generation = rate of accumulation

$$Q|_z - Q|_{z+\Delta z} + (-ra\Delta H_R)\Delta V = 0$$

$$Q|_z - Q|_{z+\Delta z} = -(-ra\Delta H_R)\frac{Id^2}{4}\Delta z$$

kedua ruas dibagi dengan Δz

$$\frac{Q|_z - Q|_{z+\Delta z}}{\Delta z} = -(-ra\Delta H_R)\frac{\pi Id^2}{4}$$

$$\frac{dQ}{dz} = (-ra\Delta H_R)\frac{\pi Id^2}{4}$$

$$\frac{d\Sigma f_i \cdot C p_i (T_g - T_{ref})}{dz} = (-ra\Delta H_R)\frac{\pi Id^2}{4}$$

$$\Sigma f g \cdot C p g \cdot \frac{dT_g}{dz} = (-ra\Delta H_R)\frac{\pi Id^2}{4}$$

$$\frac{dT_g}{dz} = \frac{\left[-ra\Delta H_R \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \right]}{\Sigma F_i \cdot C p_i} \dots\dots\dots(2)$$

Aliran gas akan melewati tumpukan katalis sehingga terjadi pressure drop. Pressure drop dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\frac{dPt}{dz} = \left[150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{Rep} \right) + 4.2 \left(\frac{1 - \varepsilon}{Rep} \right)^{\frac{1}{6}} \right] \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{Gp^2}{\rho Dp} \dots\dots\dots(3)$$

dengan hubungan:

- Dp : Diameter katalis [m]
- Gp : Flux massa [kg/m² s]
- Rep : Bilangan reynold
- Pt : Tekanan [Pa]
- ε : Porositas katalis
- ρ : Rapat massa gas [kg/m³]

Dari persamaan (1), (2), dan (3) didapatkan persamaan diferensial biasa orde 1 yang dapat diselesaikan secara simultan.

Penyelesaian matematis diselesaikan dengan menggunakan metode Runge Kutt

$$Z_{n+1} = Z_n + \Delta z$$

$$xa_{n+1} = xa_n + \frac{(k1 + 2 k2 + 2 k3 + 2 k4)}{6}$$

$$Tg_{n+1} = TG - n = \frac{l1 + 2 l2 + 2 l3 + l4}{6}$$

$$Pt_{n+1} = Pt_n + \frac{n1 + 2 n2 + 2 n3 + n4}{6}$$

Dimana k1, l1, m1, n1 : konstanta runge kutta ke 1

Konstanta Runge Kutta ke-1

$$k1 = \frac{\Delta xa}{\Delta z} \Delta z \quad \text{dievaluasi pada}$$

$$l1 = \frac{\Delta Tg}{\Delta z} \Delta z$$

$$n1 = \frac{\Delta TPt}{\Delta z} \Delta z$$

Konstanta Runge Kutta ke-2

$$k2 = \frac{\Delta xa}{\Delta z} \Delta z \quad \text{dievaluasi pada}$$

$$l2 = \frac{\Delta Tg}{\Delta z} \Delta z$$

$$n2 = \frac{\Delta TPt}{\Delta z} \Delta z$$

Konstanta Runge Kutta ke-3

$$k3 = \frac{\Delta xa}{\Delta z} \Delta z \quad \text{dievaluasi pada}$$

$$l3 = \frac{\Delta Tg}{\Delta z} \Delta z$$

$$n3 = \frac{\Delta TPt}{\Delta z} \Delta z$$

Konstanta Runge Kutta ke-4

$$k4 = \frac{\Delta xa}{\Delta z} \Delta z \quad \text{dievaluasi pada}$$

$$l_4 = \frac{\Delta T g}{\Delta z} \Delta z$$

$$n_4 = \frac{\Delta T P t}{\Delta z} \Delta z$$

2. Perhitungan Sifat-sifat fisis

Massa molekul, suhu didih, suhu kritis , tekanan kritis masing masing

| Komponen | Mr | Tf | Tb | Tc | Pc |
|----------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| N ₂ | 28 | 63,3 | 77,4 | 126,2 | 33,9 |
| O ₂ | 32 | 54,4 | 90,2 | 154,6 | 50,4 |
| HCl | 36,5 | 159 | 188,15 | 324,7 | 83,1 |
| C ₆ H ₆ | 78 | 278,7 | 353,2 | 562,2 | 48,9 |
| H ₂ O | 18 | 273,2 | 373,2 | 647,3 | 221,2 |
| C ₆ H ₅ Cl | 112,5 | 227,6 | 404,9 | 632,4 | 45,2 |
| C ₆ H ₅ OH | 94 | 314 | 455 | 694,2 | 61,3 |

Sumber: "The Properties of Liquids and Gases", Fifth Edition

2.1. Kapasitas panas fase gas

Dihitung dengan persamaan:

$$C_p = A + B T + C T^2 + D T^3 + E T^4$$

Sumber: "Chemical Properties Handbook", Carl L.Yaws, 1999
(pers (2-1) hal 30)

Keterangan:

C_p : Kapasitas panas gas ideal [joule/(mol K)]

A,B,C,D, dan E : Konstanta

T : Temperature [K]

| Komponen | A | B | C | D | E |
|----------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| N ₂ | 29,342 | -4E-03 | 1E-05 | -4E-09 | 3E-11 |
| O ₂ | 29,526 | -9E-03 | 4E-08 | -3E-08 | 9E-12 |
| HCl | 29,244 | -1E-03 | 1E-06 | 5E-09 | -2E-12 |
| C ₆ H ₆ | -31,368 | 5E-01 | -3E-04 | 9E-08 | -5E-12 |
| H ₂ O | 33,933 | -8E-03 | 3E-05 | -2E-08 | 4E-12 |
| C ₆ H ₅ Cl | 27,315 | 2E-01 | 9E-05 | -2E-07 | 8E-11 |
| C ₆ H ₅ OH | 4,408 | 4E-01 | -6E-05 | -1E-07 | 6E-11 |

2.2. Viskositas Gas

Dihitung dengan persamaan

$$\eta_{\text{gas}} = A + B T + C T^2$$

Sumber : "Chemical Properties Handbook", Carl L.Yaws, 1999 (pers (21-1) hal 452)

Keterangan:

A,B, dan C: konstanta empiris

T : Temperature [K]

μ : viskositas fase gas [kg /m s]

| Komponen | A | B | C |
|----------------------------------|---------|----------|-----------|
| N ₂ | 42,606 | 4,75E-01 | -9,88E-05 |
| O ₂ | 44,224 | 5,62E-01 | -1,13E-04 |
| HCl | -9,118 | 5,55E-01 | -1,11E-04 |
| C ₆ H ₆ | -0,151 | 2,57E-01 | -8,98E-06 |
| H ₂ O | -36,826 | 4,29E-01 | 1,62E-05 |
| C ₆ H ₅ Cl | -14,868 | 3,16E-01 | -4,29E-05 |
| C ₆ H ₅ OH | -7,185 | 2,72E-01 | -3,62E-05 |

2.3. Konduktivitas Thermal Gas

$$k_{\text{gas}} = A + B T + C T^2$$

Sumber : "Chemical Properties Handbook", Carl L.Yaws, 1999 (pers (23-1) hal 505)

Keterangan

k : Konduktivitas thermal gas [W/(m.K)]

A,B, dan C : Koefisien regresi dari komponen senyawa

T : Temperature [K]

| Komponen | A | B | C |
|----------------------------------|----------|----------|-----------|
| N ₂ | 0,00309 | 7,59E-05 | -1,10E-08 |
| O ₂ | 0,00121 | 8,62E-05 | -1,33E-08 |
| HCl | 0,00119 | 4,48E-05 | 2,10E-10 |
| C ₆ H ₆ | -0,00565 | 3,45E-05 | 6,93E-08 |
| H ₂ O | 0,00053 | 4,71E-05 | 4,96E-08 |
| C ₆ H ₅ Cl | -0,00974 | 4,58E-05 | 4,35E-08 |
| C ₆ H ₅ OH | -0,00552 | 4,50E-05 | 3,99E-08 |

2.4 Densitas

Dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\text{density} = A B^{-(1-T/T_c)^n}$$

Sumber: "Chemical Properties Handbook", Carl L. Yaws, 1999
halaman 189 pers. (8-1)

| Komponen | A | B | n | Tc |
|----------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| N ₂ | 0,3121 | 0,2848 | 0,2925 | 126,1000 |
| O ₂ | 0,43533 | 0,28772 | 0,2924 | 154,58 |
| HCl | 0,44134 | 0,26957 | 0,3187 | 324,65 |
| C ₆ H ₆ | 0,3009 | 0,2677 | 0,2818 | 562,16 |
| H ₂ O | 0,3471 | 0,274 | 0,28571 | 647,13 |
| C ₆ H ₅ Cl | 0,37818 | 0,27648 | 0,29036 | 632,35 |
| C ₆ H ₅ OH | 0,41476 | 0,32162 | 0,3212 | 694,25 |

3. Perhitungan Spesifikasi Reaktor

Perhitungan spesifikasi dan simulasi reaktor R-01 dilakukan dengan metode numeris Runge Kutta menggunakan visual basic for application.

Berikut adalah spesifikasi reaktor yang diperoleh:

| Tinggi (m) | Konversi (x) | Suhu (°C) | Tekanan (atm) |
|------------|--------------|-----------|---------------|
| 0 | 0,0000 | 190,0000 | 1,5000 |
| 0,1 | 0,0021 | 190,1543 | 1,5000 |
| 0,2 | 0,0041 | 190,3081 | 1,5000 |
| 0,3 | 0,0062 | 190,4614 | 1,5000 |
| 0,4 | 0,0083 | 190,6140 | 1,5000 |
| 0,5 | 0,0104 | 190,7662 | 1,5000 |
| 0,6 | 0,0125 | 190,9178 | 1,5000 |
| 0,7 | 0,0147 | 191,0688 | 1,5000 |
| 0,8 | 0,0168 | 191,2193 | 1,5000 |
| 0,9 | 0,0189 | 191,3692 | 1,5000 |
| 1 | 0,0211 | 191,5186 | 1,5000 |
| 1,1 | 0,0233 | 191,6675 | 1,5000 |
| 1,2 | 0,0254 | 191,8159 | 1,5000 |
| 1,3 | 0,0276 | 191,9637 | 1,5000 |
| 1,4 | 0,0298 | 192,1109 | 1,5000 |
| 1,5 | 0,0320 | 192,2577 | 1,5000 |
| 1,6 | 0,0342 | 192,4039 | 1,5000 |
| 1,7 | 0,0365 | 192,5496 | 1,5000 |
| 1,8 | 0,0387 | 192,6948 | 1,5000 |

| Tinggi (m) | Konversi (x) | Suhu (°C) | Tekanan (atm) |
|-----------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| 1,9 | 0,0409 | 192,8394 | 1,5000 |
| 2 | 0,0432 | 192,9835 | 1,5000 |
| 2,1 | 0,0455 | 193,1272 | 1,5000 |
| 2,2 | 0,0477 | 193,2703 | 1,5000 |
| 2,3 | 0,0500 | 193,4128 | 1,5000 |
| 2,4 | 0,0523 | 193,5549 | 1,5000 |
| 2,5 | 0,0546 | 193,6965 | 1,5000 |
| 2,6 | 0,0569 | 193,8375 | 1,5000 |
| 2,7 | 0,0592 | 193,9781 | 1,5000 |
| 2,8 | 0,0616 | 194,1181 | 1,5000 |
| 2,9 | 0,0639 | 194,2577 | 1,5000 |
| 3 | 0,0662 | 194,3967 | 1,5000 |
| 3,1 | 0,0686 | 194,5353 | 1,5000 |
| 3,2 | 0,0710 | 194,6733 | 1,5000 |
| 3,3 | 0,0733 | 194,8109 | 1,5000 |
| 3,4 | 0,0757 | 194,9480 | 1,5000 |
| 3,5 | 0,0781 | 195,0845 | 1,5000 |
| 3,6 | 0,0805 | 195,2206 | 1,5000 |
| 3,7 | 0,0829 | 195,3562 | 1,5000 |
| 3,8 | 0,0853 | 195,4913 | 1,5000 |
| 3,9 | 0,0878 | 195,6260 | 1,5000 |
| 4 | 0,0902 | 195,7601 | 1,5000 |
| 4,1 | 0,0927 | 195,8938 | 1,5000 |
| 4,2 | 0,0951 | 196,0270 | 1,5000 |
| 4,3 | 0,0976 | 196,1597 | 1,5000 |
| 4,4 | 0,1000 | 196,2920 | 1,5000 |
| 4,5 | 0,1025 | 196,4237 | 1,5000 |
| 4,6 | 0,1050 | 196,5550 | 1,5000 |
| 4,7 | 0,1075 | 196,6859 | 1,5000 |
| 4,8 | 0,1100 | 196,8162 | 1,5000 |
| 4,9 | 0,1125 | 196,9461 | 1,5000 |
| 5 | 0,1150 | 197,0756 | 1,5000 |
| 5,1 | 0,1176 | 197,2045 | 1,5000 |
| 5,2 | 0,1201 | 197,3330 | 1,5000 |
| 5,3 | 0,1226 | 197,4611 | 1,5000 |
| 5,4 | 0,1252 | 197,5887 | 1,5000 |
| 5,5 | 0,1277 | 197,7158 | 1,5000 |
| 5,6 | 0,1303 | 197,8425 | 1,5000 |
| 5,7 | 0,1329 | 197,9687 | 1,5000 |

| Tinggi (m) | Konversi (x) | Suhu (°C) | Tekanan (atm) |
|------------|--------------|-----------|---------------|
| 5,8 | 0,1354 | 198,0945 | 1,5000 |
| 5,9 | 0,1380 | 198,2199 | 1,5000 |
| 6 | 0,1406 | 198,3447 | 1,5000 |
| 6,1 | 0,1432 | 198,4692 | 1,5000 |
| 6,2 | 0,1458 | 198,5932 | 1,5000 |
| 6,3 | 0,1485 | 198,7167 | 1,5000 |
| 6,359 | 0,1500 | 198,7894 | 1,5000 |

Neraca Massa

Konversi: 15%

| Komponen | Mr | Masuk Reaktor | | Keluar Reaktor | |
|----------------------------------|------|---------------|----------|----------------|----------|
| | | kg/jam | kmol/jam | kg/jam | kmol/jam |
| N ₂ | 28 | 10518 | 376 | 10518 | 376 |
| O ₂ | 32 | 3195 | 100 | 3036 | 95 |
| HCl | 36,5 | 2430 | 67 | 2065 | 57 |
| C ₆ H ₆ | 78 | 15578 | 200 | 14799 | 190 |
| H ₂ O | 18 | 4933 | 274 | 5113 | 284 |
| C ₆ H ₅ Cl | 113 | 0 | 0 | 1123 | 10 |
| C ₆ H ₅ OH | 94 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | 36655 | | 36655 | |

4. Mechanical Design

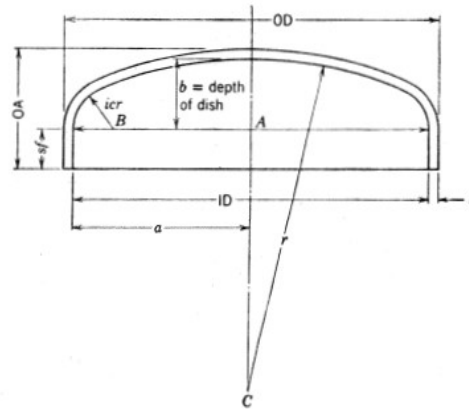
4.1. Head

Dalam menentukan pemilihan jenis head, hal-hal yang harus dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

- 1) Flanged dan standard dished head, umumnya digunakan untuk tekanan operasi rendah, harganya murah dan digunakan untuk tangki dengan diameter kecil
- 2) Torispherical flanged dan dished head, digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis
- 3) Ellipsoidal head, digunakan untuk tekanan operasi tinggi dan harganya cukup mahal
- 4) Hemispherical head, digunakan untuk tekanan operasi sangat tinggi.

Kuat dan ukuran yang tersedia sangat terbatas

dibuat, maka dipilih bentuk Torispherical Flanged dan Dished Head, karena dapat digunakan untuk mengatasi tekanan hingga 15 bar (Brownell and Young, 1959).



Gambar Torispherical Flanged Dishead Head

keterangan:

- icr : jari jari sudut internal m
- rc : jari jari kelengkungan m
- sf : flange lurus m
- th : tebal tutup m
- OA: tinggi penutup m

A. Tebal Head

Tebal penutup dihitung dengan persamaan 13.46 (Sinnott, Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design, (2008), Mc.Graw Hill halaman 990) :

$$t = \frac{0,885 P \cdot r_c}{f \cdot E - 0,1P} + C$$

Keterangan:

- t : tebal head [m]
- P : tekanan [Pa]
- rc : radius of dish [m]
- f : tekanan maksimum yang diizinkan [Pa]
- E : welded joint efficiency [m]
- C : Faktor korosi

Tangki dirancang menggunakan Hastelloy A (HA) SA-240 Grade M type 316 dengan tegangan maksimum yang diizinkan sebesar 17500 psi. Data-data mengenai bahan-bahan tersebut adalah sebagai berikut:

- Allowance stress, f : 17500 psi
- Efisiensi sambungan, : 90% (single welded butt joint with backing strip)
- Faktor korosi, C : 0,003

Internal pressure pada reaktor sebesar 1.5 atm dan untuk faktor safety, maka digunakan overdesign yakni sebesar 20% internal

- Internal pressure (20% overdesign) : 95121429 Pa

- Diameter shell : 1 m
 - Maka, jari-jari dish (rc) : 0,0635 m
 - Tebal head (th) : 0,0032 m = 0,13 inch
- Dipilih tebal head standar = 0,0048 m

B. Tinggi Head

$$OA = th + b + sf$$

Berdasarkan tabel 5.6 (Brownell & Young, 1959) hal 87, maka diperoleh th standar

$$sf = 0,0508 \text{ m}$$

$$icr = 0,0635 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh data sebagai berikut:

$$AB = 0,4366 \text{ m}$$

$$BC = 0,94 \text{ m}$$

$$b = 0,1715$$

$$OA = 2,1746 \text{ m}$$

Sehingga, diperoleh tinggi head 2,1746 m

Tinggi Total

H total = tinggi katalis + 2.Ballast + 2.Tinggi Head

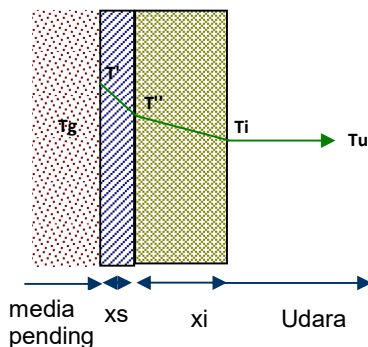
(sumber: sumber: Rase, H.F., Chemical Reaktor Design, John Willey 1977)

$$\text{tinggi ballast} = 2,5 \text{ in}$$

$$0,06 \text{ m}$$

sehingga didapatkan tinggi total sebesar 11 m

5. Isolasi Reaktor



Keterangan:

xs Tebal dinding pipa [m]

xi Tebal dinding isolator [m]

Tg Suhu reaktor [K]

T' suhu permukaan dalam pipa [K]

T'' suhu permukaan luar pipa [K]

Ti suhu dinding luar isolator [K]

Tu suhu udara lingkungan [K]

Gambar Skema Transfer Panas pada Dinding dan Isolator Reaktor

Perhitungan dengan mengambil beberapa asumsi, sebagai berikut.

- 1 *Steady state*
- 2 Suhu udara luar 30°C
- 3 Suhu permukaan luar isolator 40°C

Perpindahan kalor yang terjadi

- 1 Perpindahan kalor secara **konduksi** dari dinding dalam pipa ke dinding keluar pipa
- 2 Perpindahan kalor secara **konduksi** dari dalam isolator ke dinding luar isolator
- 3 Perpindahan kalor secara **konveksi** dan **radiasi** dari permukaan isolator ke udara lingkungan

Isolator yang digunakan pada reaktor ini adalah *glass fiber*. Kelebihan dari isolator ini adalah sebagai berikut.

- 1 Mempunyai nilai konduktivitas panas yang rendah
 - 2 Suhu operasi
- 1 Perpindahan kalor secara **konduksi** dari dinding dalam pipa ke dinding keluar pipa mengikuti persamaan:

$$q = kths \frac{T_p - T''}{xs}$$

kths: konduktivitas thermal baja [kJ/ms K]

- 2 Perpindahan kalor secara **konduksi** dari dalam isolator ke dinding luar isolator, mengikuti persamaan:

$$q = kthi \frac{T'' - T_i}{xi}$$

kthi: konduktivitas thermal isolator [kJ/ms K]

- 3 Perpindahan kalor secara **konveksi** dan **radiasi** dari permukaan isolator ke udara lingkungan

Perpindahan kalor secara **konveksi** :

$$q_c = hc(T_i - T_u) \quad [\text{kJ/m}^2 \text{ sK}]$$

hc: koefisien perpindahan kalor secara konveksi ke udara lingkungan

Dihitungan dengan persamaan

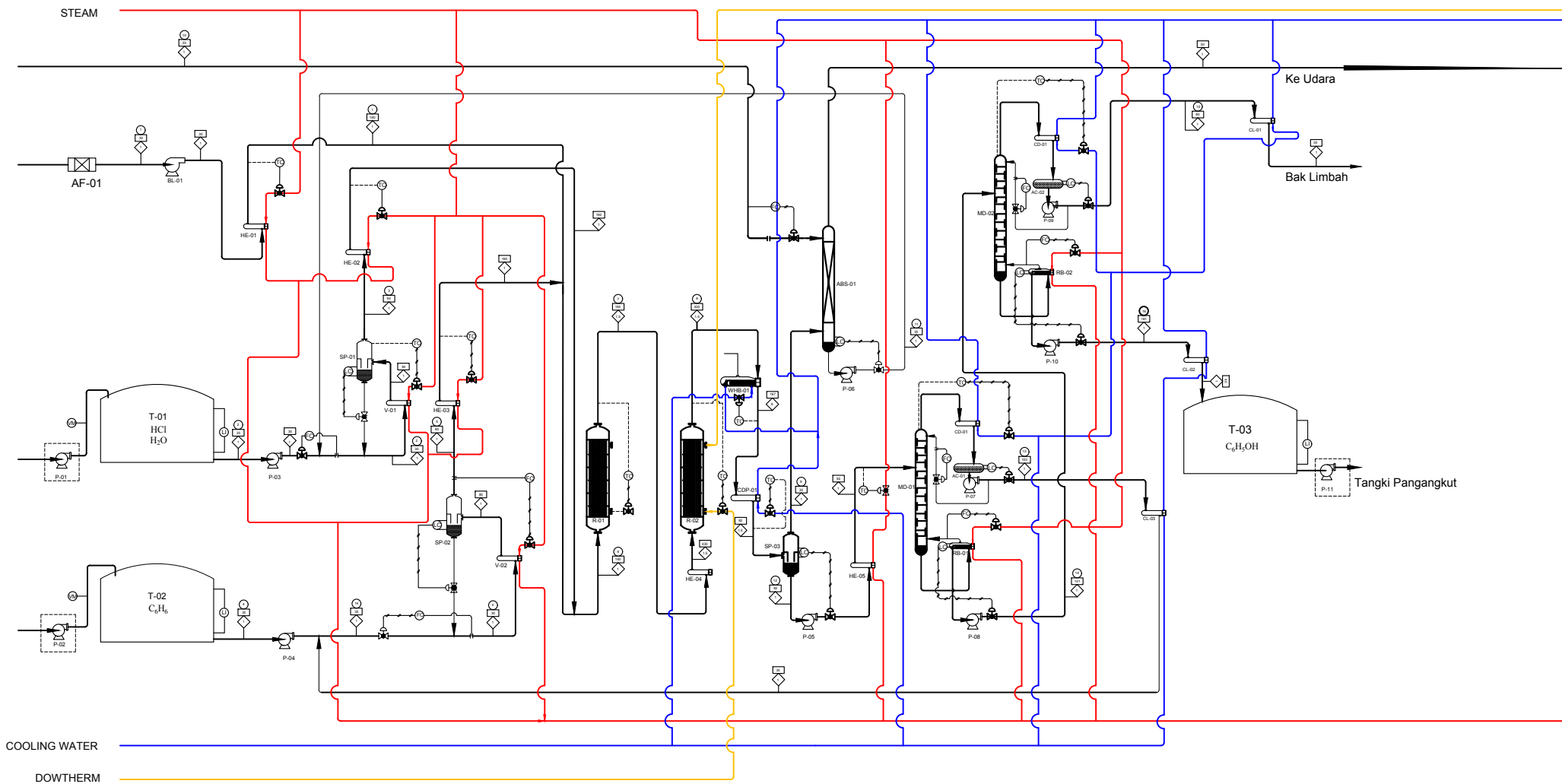
$$hc = 0.3 \times [T_i - T_u]^{0.25} \quad [\text{Btu/jam ft}^2 \text{ F}]$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan ketebalan isolator sebesar 1,4E-04 m

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI PROSES RASHIG

KAPASITAS 7.000 TON/TAHUN




NERACA MASSA (kg/jam)

| KOMPONEN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----------------------------------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|--------|
| N ₂ | 10518,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10518,42 | 10518,42 | 10518,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| O ₂ | 1395,47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3195,47 | 3035,68 | 3035,68 | 3035,68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HCl | 0 | 2433,13 | 2429,89 | 0 | 0 | 2429,89 | 2065,38 | 2411,66 | 2411,66 | 0 | 2339,31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C ₆ H ₆ | 0 | 0 | 0 | 19472,44 | 15577,91 | 15577,91 | 14798,96 | 14798,96 | 0 | 0 | 0 | 14798,96 | 14651,01 | 147,94 | 147,94 | 0 |
| H ₂ O | 0 | 6465,34 | 4933,41 | 0 | 0 | 4933,41 | 5113,17 | 4942,40 | 0 | 6222,33 | 6222,33 | 4942,40 | 49,42 | 4892,97 | 4892,42 | 0,55 |
| C ₆ H ₅ Cl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1123,49 | 56,17 | 0 | 0 | 0 | 56,17 | 0 | 56,17 | 55,61 | 0,56 |
| C ₆ H ₅ OH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 891,81 | 0 | 0 | 0 | 891,81 | 0 | 891,81 | 8,92 | 882,89 |
| TOTAL | 13713,89 | 8898,47 | 7363,30 | 19472,44 | 15577,91 | 36655,10 | 36655,10 | 36655,10 | 15965,77 | 6222,33 | 8561,64 | 20689 | 14,70 | 5988,89 | 5104,89 | 884 |

| Keterangan | |
|------------|-------------------|
| AB | Absorber |
| AC | Akumulatur |
| AF | Air Filter |
| CD | Kondensator |
| CDP | Kondensator Paksi |
| CL | Pendingin |
| HE | Pemanas |
| BL | Blower |
| MD | Menara Distilasi |
| FP | Flashed |
| R | Reaktor |
| RB | Reboiler |
| SP | Separator |
| T | Tangki |
| V | Valve |
| WB | Waktu Hantar Bow |

| Pengendali | |
|------------|-----------------------|
| FC | Pengendali arus |
| LC | Pengendali katangan |
| LT | Pengendali ketinggian |
| PC | Pengendali tekanan |
| TC | Pengendali suhu |
| VM | Pengatur volume |

| SIMBOL | |
|--------|--------------|
| ○ | Nomor arus |
| □ | Suhu, C |
| ◇ | Tekanan, atm |
| — | Pipa |
| — | Udara tekan |
| — | Udara |
| — | Listrik |
| — | Air |
| — | Dowtherm |
| — | Steam |



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK FENOL DENGAN PROSES RASCHIG
KAPASITAS PRODUKSI 7.000 TON/TAHUN

Dikerjakan Oleh :

1. Istikomah
2. Naura Maysyah

08/211923
(20621207)

PEMBIMBING : 1. Dr. Ir. Pujiastuti, S.T., M.Eng

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

1. Nama Mahasiswa : Istiqomah
 NIM : 2052192
2. Nama Mahasiswa : Naura Maysahaq
 NIM : 20521207
 /

Judul Prarancangan : Prarancangan Pabrik Fenol dengan Proses
 Raschig dengan Kapasitas 44.000 Ton/Tahun

Mulai Masa Bimbingan : 14 September 2023

Batas Akhir Bimbingan : 10 Juli 2024

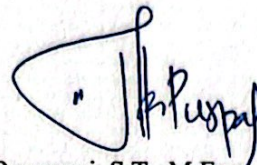
| No | Tanggal | Materi Bimbingan | Paraf Dosen |
|----|------------|--|-------------|
| 1 | -09-2023 | Perkenalan dan diskusi tentang prarancangan pabrik | |
| 2 | 26-09-2023 | Diskusi mengenai kapasitas pabrik | |
| 3 | 18-12-2023 | Diskusi mengenai spesifikasi bahan | |
| 4 | 18-12-2023 | Konsultasi diagram alir dan deskripsi proses | |
| 5 | 06-03-2024 | Konsultasi neraca massa alat | |
| 6 | 08-03-2024 | Konsultasi reaktor 1 dan reaktor 2 | |
| 7 | 14-05-2024 | Konsultasi alat pemisah dan unit operasi pemisah | |
| 8 | 14-05-2024 | Konsultasi PEFD | |
| 9 | 03-06-2024 | Konsultasi alat penyimpanan bahan | |
| 10 | 03-06-2024 | Konsultasi alat penukar panas | |
| 11 | 03-06-2024 | Konsultasi neraca panas | |
| 12 | 12-06-2024 | Konsultasi tata letak dan lokasi | |
| 13 | 02-06-2023 | Konsultasi utilitas | |

| | | | |
|----|------------|-----------------------------|----|
| 14 | 02-06-2023 | Konsultasi evaluasi ekonomi | HE |
| 15 | 02-06-2023 | Penetapan naskah | HE |

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 02 Juli 2024

Pembimbing,



Ifa Pusparasi, S.T., M.Eng., Ph.D