

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul "Prarancangan Pabrik Nitrobenzena dari Benzena dan Asam Nitrat dengan Metode Nitration Menggunakan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 1700 ton/tahun" oleh Findi Pahlawan NIM 432 20 055 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 09 Agustus 2022

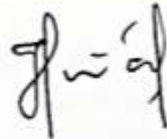
Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. Zulmanwardi, M.Si.
NIP. 19621101 199103 1 003

Pembimbing II



Rahmiah Sjafruddin, S.T., M.Eng.
NIP. 19760205 200604 2 001

Mengetahui,
a.n. Direktur
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Drs. Herman Banggalino, M.T.
NIP. 19610831 199003 1 002

RINGKASAN

Perancangan pabrik nitrobenzena kapasitas 1700 ton/tahun dari benzena dan asam nitrat direncanakan didirikan di daerah Kawasan Industri Cilacap, Jawa Tengah. Proses yang digunakan dalam pembuatan nitrobenzena yaitu proses nitrasi dengan penggunaan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada kondisi operasi suhu 50 °C dan tekanan 1 atm. Reaksi berlangsung dalam fase cair – cair, irreversible, dan dalam kondisi isothermal. Pabrik direncanakan beroperasi selama 330 hari berbentuk perseroan terbatas (PT) dengan 109 karyawan yang terbagi menjadi karyawan shift dan nonshift.

Kebutuhan benzena diperoleh dari PT.Pertamina UP IV Cilacap dan asam nitrat dari PT. Multi Nitrotama Kimia Cikampek. Produksi Nitrobenzena yang dihasilkan sebanyak 214,6465 kg/jam dengan kebutuhan awal air untuk penyediaan unit utilitas sebanyak 104,1273 kg/jam yang digunakan untuk kebutuhan steam, air proses, dan air sanitasi.

Pabrik nitrobenzena yang didirikan ini dengan modal tetap sebesar Rp. 129,866,711,612.45 per tahun dengan modal kerja sebesar Rp. 22,539,885,975.59 per tahun menghasilkan keuntungan sebesar Rp. 24,256,985,618.54 per tahun sesudah mengalami pajak sebesar 20% dari keuntungan sebelum pajak. Present return on investment (ROI) sebelum pajak sebesar 28,22% dan sesudah pajak sebesar 23%. Pay out time (POT) sebelum pajak dan sesudah pajak yaitu selama 2,6 tahun dan 3 tahun. Break Event Point (BEP) sebesar 40,21%, Shut Down Point (SDP) sebesar 15,37%, Discounted Cash Flow (DCF) sebesar 12,68%. Berdasarkan dari analisis kelayakan ekonomi dengan pertimbangan harga ROI, POT, BEP, SDP, untuk pabrik dengan resiko sedang diperoleh hasil kesimpulan bahwa pabrik nitrobenzena ini layak untuk didirikan.

DAFTAR ISI

| | hlmn. |
|-------------------------------------|-------|
| SAMPUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PENERIMAAN..... | iv |
| SURAT PERNYATAAN | vi |
| KATA PENGANTAR | viii |
| RINGKASAN..... | x |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xv |
| DAFTAR SINGKATAN | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Tinjauan Pustaka..... | 3 |
| 1.3. Uraian Proses | 16 |
| 1.4. Spesifikasi Bahan..... | 20 |
| BAB II NERACA MASSA DAN ENERGI..... | 29 |
| 2.1. Neraca Massa/Bahan | 29 |
| 2.2. Neraca Energi..... | 33 |
| 2.3. Diagram alir kuantitatif..... | 39 |

| | |
|---|-----|
| 2.4. Diagram alir engineering..... | 40 |
| BAB III SPESIFIKASI ALAT | 41 |
| BAB IV UTILITAS | 56 |
| 4.1. Penyediaan Air..... | 56 |
| 4.2. Penyediaan Steam | 65 |
| 4.3. Penyediaan Listrik | 66 |
| 4.4. Penyediaan Bahan Bakar | 70 |
| 4.5. Penyediaan Udara tekan | 71 |
| 4.6. Pengolahan Limbah | 74 |
| BAB V LAY OUT/TATA LETAK PABRIK | 76 |
| 5.1. Lokasi Pabrik | 76 |
| 5.2. Tata Letak Pabrik..... | 76 |
| BAB VI STRUKTUR ORGANISASI..... | 82 |
| BAB VII ANALISA EKONOMI | 92 |
| 7.1. Total Capital Investment (TCI) | 93 |
| 7.2. Total Production Cost (TPC)..... | 93 |
| 7.3. Analisis Ekonomi..... | 96 |
| BAB VIII KESIMPULAN..... | 99 |
| DAFTAR PUSTAKA | 100 |
| LAMPIRAN..... | 102 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu industri kimia yang penting keberadaannya saat ini adalah industri nitrobenzena. Nitrobenzena mempunyai nilai yang sangat strategis dalam perkembangan dunia industri, sekitar 97% nitrobenzena digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan anilin yang merupakan prekursor bahan kimia dalam industri karet, farmasi, bahan peledak, kosmetik, pewarna, pestisida, dan sebagai pelarut dalam industri cat, semir logam polishes dan sebagainya.

Kebutuhan nitrobenzena di Indonesia masih mengandalkan impor dari Amerika Serikat, Jepang, Inggris, India, Malaysia, dan Rusia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016 - 2020 jumlah impor nitrobenzena di Indonesia yaitu 20,415 - 774,715 ton. Data ini menunjukkan bahwa kebutuhan nitrobenzena di Indonesia terus mengalami peningkatan. Sedangkan pada tahun 2026 mendatang, diprediksi kebutuhan nitrobenzena sudah mencapai 1601,56 ton.

Semakin meningkatnya kebutuhan nitrobenzena dalam negeri menjadi alasan perlunya pabrik nitrobenzena didirikan di Indonesia. Hal ini dapat didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah yang dapat diperoleh dari dalam negeri tanpa harus diimpor. Adapun bahan baku utama pembuatan nitrobenzena yaitu Benzene, asam nitrat, dan asam sulfat. Ketiga bahan ini banyak diproduksi dalam negeri serta menjadi komoditi ekspor. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2020 jumlah ekspor benzene yaitu sebanyak 15.982,345 ton, asam nitrat sebanyak 11.321,034 ton, dan asam sulfat sebanyak 31.119,682 ton.

Sumber bahan baku pembuatan nitrobenzena banyak dijadikan sebagai komoditi ekspor namun disisi lain jumlah impor nitrobenzena di Indonesia semakin meningkat disebabkan belum adanya pabrik nitrobenzena di Indonesia. Oleh karena itu jika didirikan pabrik nitrobenzena maka sebagian bahan mentah yang diekspor dapat digunakan untuk produksi nitrobenzena sehingga menghasilkan produk yang bernilai lebih tinggi.

Bahan baku pembuatan nitrobenzena yaitu benzena dapat diperoleh dari Pertamina UP IV, Cilacap (kapasitas 270.000 ton/tahun), asam nitrat diperoleh dari PT. Multi Nitrotama Kimia Cikampek (kapasitas 150.000 ton/tahun), dan asam sulfat diperoleh dari PT. Indonesian Acid Industries (kapasitas 82.500 ton/tahun). Ketiga industri sumber bahan baku utama berlokasi di pulau jawa, oleh karena itu lokasi pabrik di pilih di Kawasan Industri Cilacap dengan tujuan memperkecil biaya pengiriman.

Produksi nitrobenzena dilakukan secara nitrasi tanpa katalis dan dengan katalis asam sulfat. Kelebihan menggunakan katalis asam sulfat yaitu sifat asam sulfat dapat mencegah asam nitrat membentuk ion hidrogen (H^+) dan ion nitrat (NO_3^-) dan hanya membentuk ion nitronium (NO_2^+), dimana ion nitronium sangat penting dalam suatu reaksi nitrasi (Fessenden, 1997). Selanjutnya proses nitrasi dapat dijalankan secara batch dan kontinyu. Pada proses kontinyu, alat-alat yang digunakan relatif lebih kecil, biaya produksi lebih rendah, serta *yeild* yang dihasilkan lebih besar yaitu bekisar pada 96-69% (Kirk, 1996). Oleh karena itu, pada prarancangan pabrik nitrobenzen ini dipilih proses nitrasi dengan katalis asam sulfat secara kontinyu.

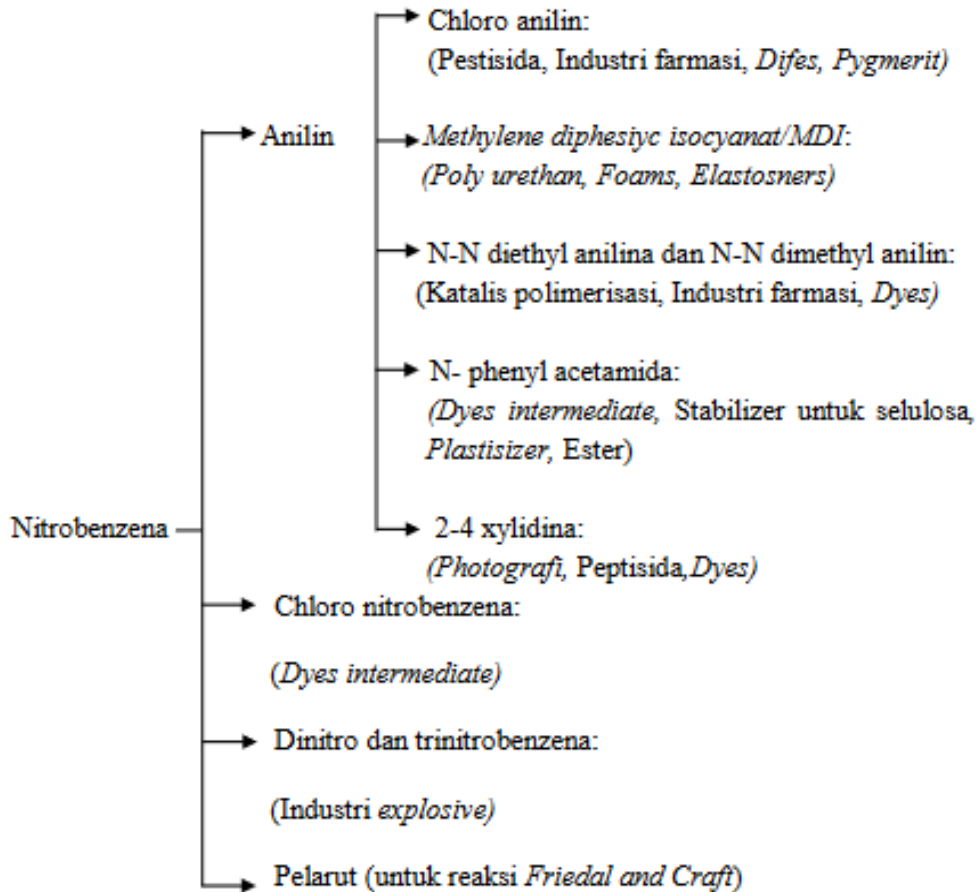
1.2. Tinjauan Pustaka

Nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$) dengan nama lain *nitrobenzol oil of mirbane* merupakan senyawa organik *aromatic compound* yang mempunyai bentuk phisis berupa cairan berwarna kuning

muda (pucat) dengan aroma buah almond. Senyawa nitrobenzena bersifat *toxic* sehingga tidak boleh terhirup dan terkena kulit serta memiliki sifat yang mudah meledak.

1.2.1. Kegunaan Nitrobenzena

Adapun kegunaan dari nitrobenzena menurut Mc. Ketta (1983) dapat dilihat pada Gambar 1.1.



1.2.2. Penentuan Kapasitas Rancangan

Kapasitas produksi dapat diartikan sebagai jumlah maksimal *output* yang diproduksi dalam satuan waktu tertentu. Pabrik yang didirikan harus mempunyai kapasitas produksi yang optimal,

yaitu jumlah dan jenis produk yang dihasilkan harus dapat menghasilkan laba yang maksimal dengan biaya minimal.

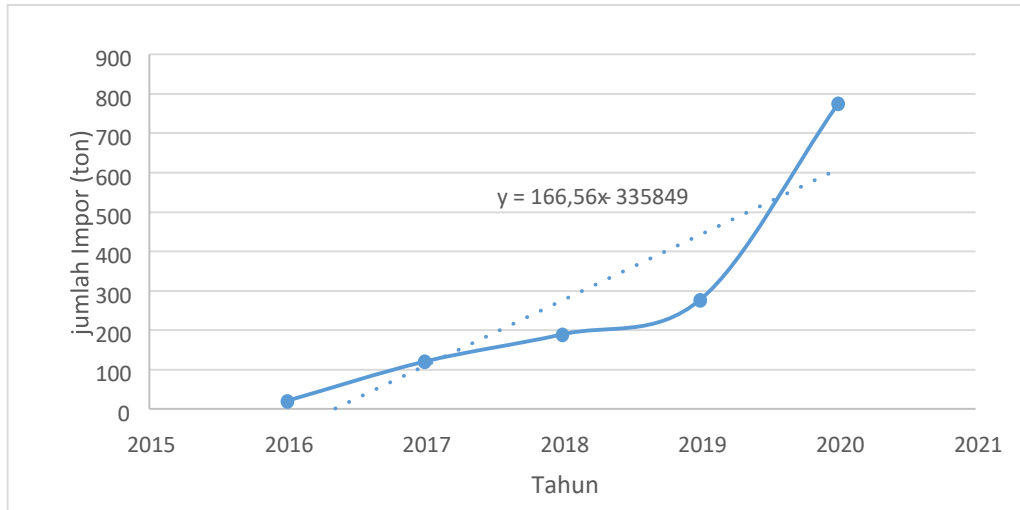
Penentuan kapasitas produksi didasarkan pada data Badan Pusat Statistik (BPS). Berdasarkan data impor yang dikeluarkan oleh BPS dalam kurun waktu 2015-2019, menunjukkan bahwa kebutuhan nitrobenzena di Indonesia cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini disebabkan banyaknya industri yang memakai bahan baku nitrobenzena. Sampai saat ini kebutuhan nitrobenzena dalam negeri masih diimpor dari negara-negara lain seperti Amerika Serikat, Jepang, Inggris, India, Malaysia dan Rusia. Adapun data impor nitrobenzena dari BPS tahun 2015-2019 dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.1. Data impor nitrobenzena di Indonesia berdasarkan Badan Pusat Statistik, (2016 – 2020)

| Tahun | Jumlah Impor (ton) |
|-------|--------------------|
| 2016 | 20,451 |
| 2017 | 120,322 |
| 2018 | 189,447 |
| 2019 | 277,43 |
| 2020 | 774,715 |

(BPS 2016 – 2020, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri)

Data tersebut dapat dicari perkiraan kebutuhan nitrobenzena pada tahun 2026 dengan perhitungan metode regresi linier. Selanjutnya dibuat grafik untuk memudahkan analisa yang menunjukkan hubungan kebutuhan nitrobenzena dalam kurun waktu 5 tahun seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Kebutuhan Impor Nitrobenzena

Gambar 1.2. memperlihatkan persamaan garis lurus yaitu $y = 166,56x - 335849$ sehingga didapatkan jumlah kebutuhan nitrobenzena pada tahun 2026 sebesar 1601,56 ton/tahun. Perancangan pabrik nitrobenzena yang direncanakan didirikan pada tahun 2026 dipilih kapasitas 1700 ton/tahun dengan pertimbangan telah cukup untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, mengurangi ketergantungan impor dan dapat diekspor ke luar negeri.

1.2.3. Pemilihan Lokasi

Pemilihan lokasi adalah hal yang sangat penting dalam perancangan pabrik, karena hal ini berhubungan langsung dengan nilai ekonomis pabrik yang akan didirikan. Berdasarkan beberapa pertimbangan pemilihan lokasi pabrik, maka pabrik nitrobenzena ini direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Cilacap, yang terletak di daerah Lomanis, Cilacap Tengah, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Pertimbangan-pertimbangan pemilihan lokasi pabrik tersebut meliputi dua faktor, yaitu: faktor utama dan faktor pendukung.

1.2.4. Faktor Utama

1.2.4.1. Sumber Bahan Baku

Bahan baku pembuatan nitrobenzena yaitu benzena dan asam campuran (asam nitrat dan asam sulfat) telah banyak diproduksi di Indonesia. Dimana benzena didatangkan dari Pertamina UP IV, Cilacap (kapasitas 270.000 ton/tahun).

Sedangkan untuk asam nitrat diperoleh dari PT. Multi Nitrotama Kimia Cikampek (kapasitas 150.000 ton/tahun) untuk asam sulfat diperoleh dari PT. Indonesian Acid Industries (kapasitas 82.500 ton/tahun) dan untuk natrium hidroksida diperoleh dari PT. Asahimas Chemical (kapasitas 700.000 ton/tahun).

1.2.4.2. Sarana Transportasi

Tersedianya sarana transportasi yang memadai untuk proses penyediaan bahan baku dan pemasaran produk yaitu tersedianya jalan raya dengan kondisi yang baik.

1.2.4.3. Pemasaran

Berdasarkan data Balai Pusat Statistik (BPS) kebutuhan nitrobenzena di dalam negeri masih rendah dari produksi yang direncanakan, maka sisa produksi akan dipasarkan sebagai komoditi ekspor.

1.2.4.4. Tenaga Kerja

Cilacap adalah satu dari tiga kawasan industri utama di Jawa Tengah (selain Semarang dan Surakarta) yang merupakan daerah industri dengan tingkat kepadatan penduduk tinggi, sehingga penyediaan tenaga kerja dapat diperoleh dari daerah disekitarnya, baik tenaga kasar maupun tenaga terdidik.

1.2.4.5. Utilitas

Fasilitas utilitas meliputi penyediaan air, bahan bakar, dan listrik.

Kebutuhan listrik dapat memanfaatkan listrik PLN yang sudah ada di kawasan Industri ini dan sumber listrik dari generator diesel. Sementara untuk sarana lain seperti air dapat diperoleh dengan memanfaatkan air Sungai Serayu di daerah Cilacap.

1.2.5. Faktor Pendukung

Faktor pendukung juga perlu mendapatkan perhatian di dalam pemilihan lokasi pabrik karena faktor-faktor yang ada didalamnya selalu menjadi pertimbangan agar pemilihan pabrik dan proses produksi dapat berjalan lancar. Faktor pendukung ini meliputi:

- Harga tanah dan gedung dikaitkan dengan rencana di masa yang akan datang
- Kemungkinan perluasan pabrik
- Tersedianya fasilitas servis
- Peraturan pemerintah daerah setempat
- Keadaan masyarakat daerah sekitar (sikap kbeamanan dan sebagainya)
- Keadaan tanah untuk rencana pembangunan dan pondasi
- Perumahan penduduk atau bangunan lain.

1.2.6. Proses Pembuatan Nitrobenzena dengan Metode Nitration

1.2.6.1. Pengertian Nitration

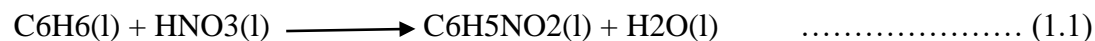
Menurut Sykes (1985), reaksi nitration adalah proses dimana terjadi reaksi kimia yang menjamin masuknya satu atau lebih gugus (-NO₂) ke dalam suatu molekul, dimana molekul reaktannya merupakan senyawa-senyawa organik. Reaksi nitration merupakan reaksi yang penting dalam industri kimia organik sintesis. Selain menghasilkan produk semacam pelarut, zat warna, zat

yang mudah meledak, juga menghasilkan produk menengah yang berguna bagi penyediaan atau pembuatan senyawa lain seperti amin. Reaksi nitration berlangsung dengan penggantian satu atau lebih gugus nitro (-NO₂) menjadi molekul yang reaktif. Gugus nitro akan menyerang karbon membentuk nitroaromatik atau nitroparafin. Apabila menyerang nitrogen membentuk nitramin dan bila menyerang oksigen membentuk nitrat ester. Pada proses nitration masuknya gugus (-NO₂) ke dalam senyawa dapat terjadi dengan menggantikan kedudukan beberapa atom atau gugus yang ada dalam senyawa. Umumnya nitration yang banyak dijumpai adalah nitration dengan memasukkan gugus nitro (-NO₂) menggantikan atom H.

1.2.6.2. Nitration Tanpa dan dengan Katalis Asam Sulfat

Reaksi nitration benzena dapat dilakukan dengan tanpa katalis dan dengan katalis asam sulfat seperti persamaan reaksi 1.1 dan 1.2

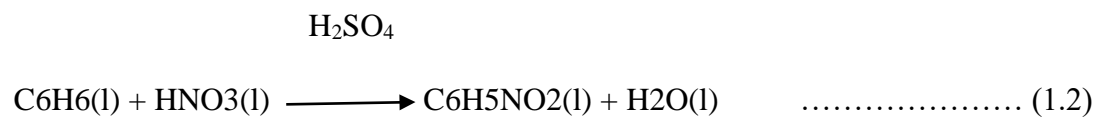
1.2.6.3. Nitration Tanpa Katalis



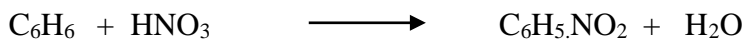
Kelebihan proses nitration tanpa katalis yaitu tidak adanya biaya pengadaan katalis. Namun, proses nitration tanpa katalis membutuhkan asam nitrat yang berlebih untuk menghasilkan nitrobenzena dalam jumlah yang sama dengan menggunakan katalis sehingga ukuran alat yang dibutuhkan jauh lebih besar dan tentunya harganya juga lebih mahal. Oleh karena itu, proses nitration tanpa katalis kurang menguntungkan dari segi ekonomi (Yulianto, 2010).

1.2.6.4. Nitration dengan Katalis Asam Sulfat

Berdasarkan : (U.S. Pat. No. 4,772,757)



Jika diuraikan lebih detail, Menurut McKetta (1990) persamaan reaksi nitration dengan katalis asam sulfat dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut ini



Berdasarkan persamaan reaksi (1.6) katalis asam sulfat (H_2SO_4) terbentuk kembali. Oleh karena itu dilakukan recycle yang bertujuan mengambil katalis asam sulfat untuk menghemat biaya operasional.

Kelebihan menggunakan katalis asam sulfat yaitu sifat asam sulfat dapat mencegah asam nitrat membentuk ion hidrogen (H^+) dan ion nitrat (NO_3^-) dan hanya membentuk ion nitronium (NO_2^+), dimana ion nitronium sangat penting dalam suatu reaksi nitration (Fessenden, 1997). Sedangkan kekurangan dari nitration dengan katalis asam sulfat yaitu adanya tambahan biaya untuk pengadaan katalis.

Berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari nitration tanpa dan dengan katalis asam sulfat. Maka, pada perancangan pabrik nitrobenzena dipilih nitration dengan menggunakan katalis asam sulfat karena sifat asam sulfat dapat mencegah asam nitrat membentuk ion hidrogen (H^+) dan ion nitrat (NO_3^-) dan hanya membentuk ion nitronium (NO_2^+) sehingga pembentukan nitrobenzena lebih stabil.

1.2.7. Nitration *Batch* dan Kontinu

Menurut Kirk (1996) pembuatan nitrobenzena dengan metode nitration dapat dilakukan dengan dua proses yaitu *batch* dan kontinu.

1.2.7.1. Nitration *Batch*.

Benzena direaksikan dengan asam nitrat dan katalis asam sulfat (56-60% H_2SO_4 , 27-32% HNO_3 , 8-17% H_2O) pada suhu 50-55°C dan tekanan 1 atm. Hasil dari nitrator diumpungkan ke dalam separator. *Crude* nitrobenzena yang dihasilkan dinetralsasi dengan basa encer, seperti NaOH atau Na_2CO_3 . Untuk mendapatkan kemurnian nitrobenzena tertentu dilakukan proses distilasi. Waktu reaksi dengan proses *batch* berkisar antara 2-4 jam dengan *yield* 95-98%. Kerugian dari proses ini adalah waktu nitration yang lama dan ukuran alat-alat yang digunakan relatif besar sehingga dari segi ekonomi kurang menguntungkan.

1.2.7.2. Nitration Kontinu

Pembuatan nitrobenzena menggunakan proses kontinu pada prinsipnya sama dengan proses *batch*, hanya saja terdapat perbedaan dalam komposisi asam nitrat dan katalis asam sulfat (56-65% H_2SO_4 , 20-26% HNO_3 , dan 15-18% H_2O), perbandingan benzena dengan campuran asam nitrat dan katalis adalah 1,05:1 dan waktu reaksi 10-30 menit pada suhu 50°C dan tekanan 1 atm. Pada proses kontinu, alat-alat yang digunakan relatif lebih kecil, biaya produksi lebih rendah dan penggunaan tenaga kerja lebih efisien dibandingkan dengan proses *batch*. Dari proses ini diperoleh *yield* sebesar 96-99%. Asam sulfat pada proses nitration ini berperan sebagai katalis, selain itu juga berperan dalam mencegah HNO_3 membentuk ion hidrogen (H^+) dan ion nitrat (NO_3^-) dan hanya membentuk ion nitronium (NO_2^+).

Dengan membandingkan keuntungan dan kerugian selama proses pembuatan nitrobenzena, maka dalam perancangan pabrik ini dipilih proses nitrasi benzena dan asam campuran dengan proses kontinyu. Pemilihan ini berdasarkan pada beberapa kelebihan proses ini, yaitu:

1. Konsentrasi asam nitrat sebagai penetrasinya lebih rendah.
2. Waktu reaksi lebih cepat dan *yield* yang diperoleh lebih besar.
3. Biaya produksi lebih rendah dan tenaga kerja yang dibutuhkan lebih sedikit.

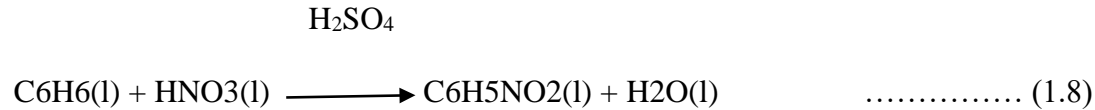
1.2.8. Kondisi operasi

Penentuan kondisi operasi didasarkan pada sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan arah reaksi (reversible/irreversible). Oleh karena itu dihitung panas reaksi pembentukan standar (ΔH°_f) dan harga tetapan kesetimbangan (K) pada suhu 298 K dan tekanan 1 atm. Adapun harga ΔH°_f 298 dan ΔG°_{f298} dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Nilai H°_{f298} dan G°_{f298} setiap komponen (Yaws, 1999)

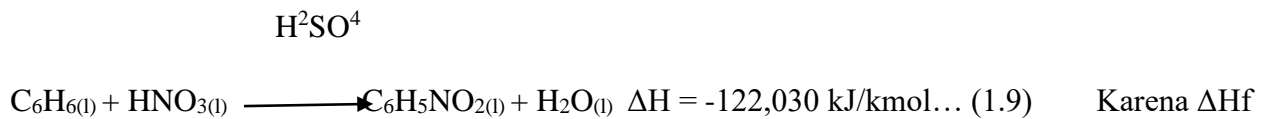
| Komponen | ΔH°_{f298} (kJ/kmol) | ΔG°_{f298} (kJ/kmol) |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Benzena (C ₆ H ₆) | 82,930 | 129,660 |
| Asam Nitrat (HNO ₃) | -135,100 | -74,700 |
| Nitrobenzena (C ₆ H ₅ NO ₂) | 67,600 | 158,000 |
| Air (H ₂ O) | -241,800 | -228,600 |

Persamaan reaksi :



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{f298} &= \Sigma \Delta H^\circ_f \text{produk} - \Delta \Sigma H^\circ_f \text{reaktan} \text{ (Smith et.al, 2001)} \\ &= \{ \Delta H^\circ_f(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) + \Delta H^\circ_f(\text{H}_2\text{O}) \} - \{ \Delta H^\circ_f(\text{C}_6\text{H}_6) + \Delta H^\circ_f(\text{HNO}_3) \} \\ &= \{ 67,600 + (-241,800) \} \text{ kJ/kmol} - \{ 82,930 + (-135,100) \} \text{ kJ/kmol} \\ &= -122,030 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Sehingga persamaan reaksi sebagai berikut:



bernilai negatif, maka reaksi pembentukan nitrobenzena merupakan reaksi eksotermis. Selanjutnya untuk mengetahui sifat reaksi apakah termasuk reaksi *reversible* atau *irreversible* maka harus dihitung harga tetapan kesetimbangan (K).

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{f298} &= \Sigma \Delta G^\circ_f \text{produk} - \Sigma \Delta G^\circ_f \text{reaktan} \text{ (Smith et.al, 2001)} \\ &= \{ \Delta G^\circ_f(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) + \Delta G^\circ_f(\text{H}_2\text{O}) \} - \{ \Delta G^\circ_f(\text{C}_6\text{H}_6) + \Delta G^\circ_f(\text{HNO}_3) \} \\ &= \{ 158,000 + (-228,600) \} - \{ 129,660 + (-74,700) \} \\ &= -125,560 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ_{298K} = - R T \ln K_{298K} \text{ (Smith et.al, 2001)}$$

$$\begin{aligned} \ln K_{298K} &= \frac{\Delta G^\circ_{298K}}{-RT} \\ &= \frac{-125,560 \text{ kJ/kmol}}{-8,314 \text{ kJ/K.kmol} \times 298 \text{ K}} \end{aligned}$$

$$= 50,67$$

$$K = 1,022 \times 10^{22}$$

$$\ln \frac{K}{K'} = - \frac{\Delta H^\circ_{f 298}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right) \text{ (Smith et. al, 2001)}$$

$$\ln \frac{K_{323K}}{K_{298K}} = - \frac{\Delta H^\circ_{f 298}}{R} \left(\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298K}} \right)$$

$$\ln K_{323K} - \ln K_{298K} = - \frac{-122,030}{8,314} \left(\frac{1}{323} - \frac{1}{273} \right)$$

$$\ln K_{323K} - 50,67 = - 8,322$$

$$\ln K_{323K} = 42,348$$

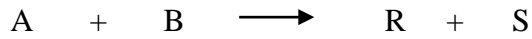
$$K = 2,463 \times 10^{18}$$

Harga K_{323K} yang diperoleh sangat tinggi serta nilai $\Delta G^\circ_{298K} < 0$ maka dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan nitrobenzena merupakan reaksi *irreversible* (reaksi yang tidak dapat balik atau searah).

Terkait kondisi operasi produksi nitrobenzen, menurut Kirk (1996) apabila suhu reaksi diatas 60°C akan terbentuk dinitrobenzena, maka suhu optimum operasi adalah suhu yang tidak terlalu tinggi atau tidak terlalu rendah yaitu 50°C . Dengan demikian kondisi operasi yang dapat diterapkan yaitu isothermal pada suhu 50°C . sementara harga $\Delta H^\circ_{f 298}$ menunjukkan bahwa sifat reaksi produksi nitrobenzena yaitu eksotermis maka untuk menjaga kondisi operasi tetap berada pada suhu 50°C maka dipasangkan jaket pendingin pada reaktor.

1.2.9. Tinjauan Kinetika

Ditinjau dari segi kinetika maka dapat dilihat dari persamaan kecepatan reaksi berikut (Hougen, 1955)



$$r_a = k_a(X_{Aa}Y_{Aa}X_{Bb}X_{Bb}K_BV_a)$$

$$r_b = k_b(X_{Aa}Y_{Aa}X_{Bb}X_{Bb}K_AV_b)$$

$$r = r_a + r_b = k_a(X_{Aa}Y_{Aa}X_{Bb}X_{Bb}K_BV_a) + k_b(X_{Aa}Y_{Aa}X_{Bb}X_{Bb}K_AV_b)$$

$$r = k_a K_B X_{Aa} Y_{Aa} X_{Bb} X_{Bb} \left(V_a + V_b \frac{k_b K_A}{k_a K_B} \right)$$

dimana, $k = k_a K_B$

$$K' = k_b K_A / k_a K_B$$

Sehingga

$$r = k X_{Aa} Y_{Aa} X_{Bb} X_{Bb} (V_a + V_b K')$$

Keterangan :

k = konstanta kecepatan reaksi

V_a = fraksi volum di fase asam

V_b = fraksi volum di fase organik

K' = konstanta kesetimbangan antara fase asam dan fase organik

X_{Aa} = fraksi mol asam nitrat dalam fase asam

X_{Bb} = fraksi mol benzena dalam fase organik

Y_{Aa} = koefisien relatif aktivitas untuk asam nitrat

$$Y_{Bb} = 1 + 62 X_{Aa} X_{Sb} (1 + 40 X_{Aa})$$

X_{Sb} = fraksi mol nitrobenzena dalam fase organik

Persamaan Kinetika (Hougen, 1955) $\ln k = \ln A -$

E/RT

Suhu operasi 15 – 50°C diambil 50°C (323 K) sehingga:

$k = 81,97 \text{ mol/liter.jam}$

Keterangan: $k =$ konstanta kecepatan reaksi

$E =$ energi aktivasi (14.000 kal/mol)

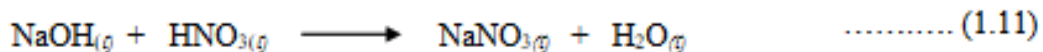
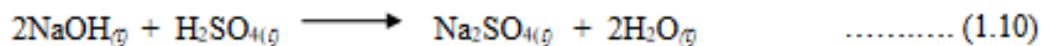
$R =$ konstanta gas ideal (1,987 kal/mol.K)

$T =$ suhu operasi (K)

$A =$ faktor tumbukan (26,22)

1.2.10. Produk Samping Pembentukan Nitrobenzena

Produksi nitrobenzena dari benzena yang direaksikan dengan asam nitrat dan asam sulfat sebagai katalis, tentunya pada akhir reaksi di reaktor terdapat sisa asam nitrat dan asam sulfat yang tidak ikut bereaksi yang akan menjadi zat pengotor pada produk. Untuk menghilangkan sisa asam nitrat dan asam sulfat maka keduanya dapat direaksikan dengan senyawa basah yaitu natrium hidroksida (NaOH) sehingga akan terbentuk garam-garam inorganik yang lebih mudah dipisahkan menggunakan dekanter. Adapun persamaan reaksi antara asam nitrat dan asam sulfat dapat dilihat pada persamaan 1.10 dan 1.11.



1.3. Uraian Proses

Proses pembuatan nitrobenzena dilakukan melalui proses nitrasi benzena dan asam campuran dengan proses kontinyu. Proses pembuatan nitrobenzena ini melalui empat tahapan, yaitu: proses persiapan bahan baku dan bahan pembantu (bahan baku yaitu: benzena 99,8%, asam nitrat 60%, asam sulfat 98% dan bahan pembantu yaitu natrium hidroksida 48%), proses reaksi nitrasi, proses pemurnian produk, dan proses rekonsentrasi asam sulfat.

Larutan asam nitrat 60% dari tangki penyimpanan (T-02) dan larutan asam sulfat (98%) dari tangki penyimpanan (T-03) dialirkan menuju mixer (M) Adapun komposisi dari campuran dalam mixer berdasarkan US Patent 4,091,042 yaitu Asam nitrat (HNO_3) = 19,9872 %, Asam sulfat (H_2SO_4) = 62,2200 %, Air (H_2O) = 17,7126 % dan Nitrobenzena ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) = 0,0802 % (dari recycle). Hasil bawah dari evaporator (EV) yang merupakan *spent acid* (asam sulfat, asam nitrat, air, dan nitrobenzena) juga dialirkan ke dalam mixer (M). Bahan baku benzena 98,8% yang berasal dari tangki (T-01) dipompa menuju reaktor (R). Kemudian campuran asam di dalam mixer (M) dipompa menuju reaktor (R). Aliran campuran asam dan benzena yang menuju reaktor (R) mempunyai perbandingan mol 1:1,05 dialirkan secara kontinyu. Reaktor yang digunakan adalah RATB. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor adalah eksotermis sehingga memerlukan pendingin agar suhu dalam reaktor tetap 50°C.

Produk dari reaktor (R) dialirkan ke dalam dekanter (DK-01) untuk dipisahkan. Di dalam dekanter-01 (DK-01) terjadi dua lapisan yang tidak saling melarutkan. Lapisan atas terdiri dari komponen fase organik, sedangkan lapisan bawah terdiri dari komponen fase inorganik (*spent acid*). Lapisan bawah dialirkan menuju evaporator (EV) untuk memekatkan asam sulfat. Campuran hasil bawah evaporator (EV) dialirkan menuju mixer (M) yang sebelumnya sudah

diturunkan suhunya menggunakan *cooler* (HE-01). Hasil atas evaporator (EV) selanjutnya dialirkan menuju unit pengolahan limbah (UPL). Sedangkan produk hasil atas dekanter (DK-01) dialirkan ke netraliser (N) untuk menetralkan sisa asam yang terikut dalam produk. Natrium hidroksida 48% (*fresh feed*) (T-04) dialirkan dari tangki penyimpanan ke tangki pengencer (TP) untuk diencerkan menjadi 4% yang selanjutnya digunakan sebagai penetral pada *neutralizer* (N). Hasil netralisasi dimasukkan dalam dekanter-02 (DK-02) untuk memisahkan produk dari garam yang terbentuk dalam proses netralisasi. Hasil bawah dekanter-02 (DK-02) dibuang ke UPL sedangkan hasil atas yang mengandung nitrobenzena, benzena, dan air dialirkan ke menara destilasi (MD).

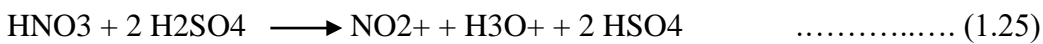
Umpan masuk menara destilasi (MD) dinaikkan suhunya menggunakan *heater* (HE-02). Hasil atas MD berupa benzena, nitrobenzena dan air dibuang ke UPL. Sedangkan hasil bawah MD yang berupa produk nitrobenzena ditampung di tangki-05 (T-05). Sebelum disimpan dalam tangki, suhu produk diturunkan menggunakan *cooler* (HE-03 dan HE-04)

1.3.1. Prinsip kerja alat

1.3.1.1. *Mixing Tank* (M)

Fungsi: Mereaksikan asam nitrat (HNO₃) dengan asam sulfat (H₂SO₄) sehingga membentuk ion nitronium, NO₂⁺.

Reaksi:



Bahan keluar = *mixed acid*

1.3.1.2. Reaktor (R)

Fungsi : Mereaksikan benzena (C₆H₆) dengan asam nitrat (HNO₃) menjadi

nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$) menggunakan katalisator asam sulfat (H_2SO_4).

1.3.1.3. Dekanter (DK-01)

Fungsi : Memisahkan senyawa organik dari larutan anorganik berdasarkan perbedaan densitas dan sifat kelarutan

- Kelarutan benzena dalam air sangat kecil sehingga dapat diabaikan.
- Kelarutan nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$) dalam air (H_2O) = 3,452/1000 H_2O
- Kelarutan air (H_2O) dalam nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$) = 3,624/1000 $C_6H_5NO_2$

1.3.1.4. Evaporator (EV)

Fungsi : Mengurangi kadar air (H_2O) sehingga diperoleh konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) yang lebih tinggi sebelum diumpankan ke *mixing tank*.. Semua asam sulfat, asam nitrat, dan nitrobenzena terpisah sebagai hasil bawah dari evaporator.

1.3.1.5. Neutralizer (N)

Fungsi : Menetralkan asam nitrat (HNO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4) dengan natrium hidroksida ($NaOH$) sehingga membentuk natrium nitrat ($NaNO_3$), natrium sulfat (Na_2SO_4), dan air (H_2O).

1.3.1.6. Dekanter (DK-02)

Fungsi : Memisahkan senyawa organik dari larutan inorganik berdasarkan perbedaan densitas dan sifat kelarutan

- Kelarutan benzena dalam air sangat kecil sehingga dapat diabaikan.
- Natrium nitrat (NaNO_3) dan natrium sulfat (Na_2SO_4) sangat sedikit larut dalam organik sehingga dapat diabaikan.
- Kelarutan nitrobenzena ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) dalam air (H_2O) = 3,452/1000 H_2O
- Kelarutan air (H_2O) dalam nitrobenzene ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) = 3,624/1000 $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$

1.3.1.7. Menara Distilasi (MD)

Fungsi: Memisahkan sebagian besar senyawa nitrobenzena ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) dari campurannya dengan senyawa lain hingga diperoleh sebagai hasil bawah dengan kemurnian 99,8%.

Bahan masuk = fase ringan dekanter

1.4. Spesifikasi Bahan

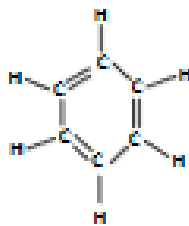
1.4.1. Bahan Baku

1.4.1.1. Benzena

- Sifat Fisika Benzena

Rumus molekul : C_6H_6

Struktur molekul :



Kenampakan : cairan tidak berwarna, mudah menguap dan mudah terbakar

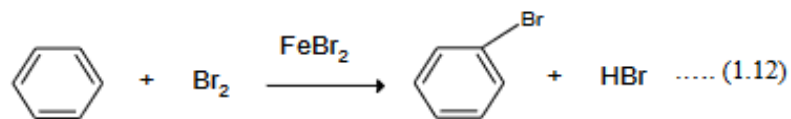
Berat molekul : 78,12 g/gmol

| | |
|-------------------------------------|---|
| Titik didih | : 80,094°C (pada 1 atm) |
| Titik lebur | : 5,530°C (pada 1 atm) |
| Densitas | : 0,8736 g/cm ³ (pada 25°C) |
| Viskositas | : 0,6010 cP (pada 25°C) |
| | : 289,01°C |
| Suhu kritis (T _c) | |
| Tekanan kritis (P _c) | : 48,35 atm |
| Panas pembentukan (H _f) | : 49,08 kJ/mol |
| Panas pembakaran (H _c) | : 3,2676 x 10 ³ kJ/mol |
| Kelarutan | : Larut dalam alkohol, eter dan air 0.180 g/100 g H ₂ O (pada T = 25°C) (Kirk, 1996) |
| Kemurnian | : 99,8% C ₆ H ₆ dan 0,2% H ₂ O |

- Sifat Kimia Benzena (Fessenden, 1997)

1. Halogenasi

Benzena bereaksi dengan bromin dengan adanya ferri bromid membentuk bromobenzena dan asam bromid.

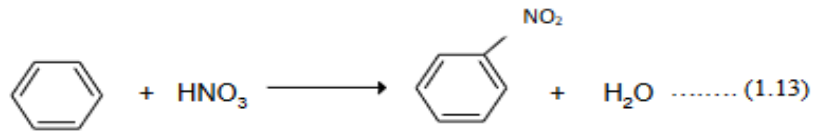


2. Nitrasi

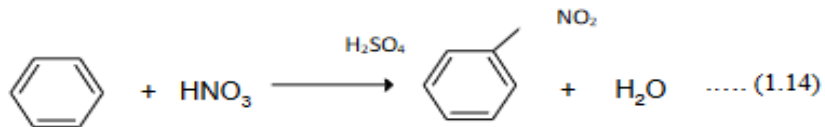
Benzena bereaksi dengan asam nitrat dengan adanya atau tanpa asam

sulfat.

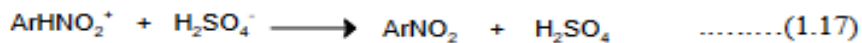
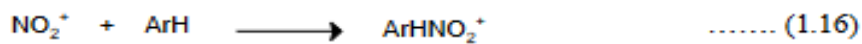
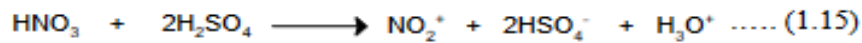
- Dengan asam nitrat



- Dengan asam campuran ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$)

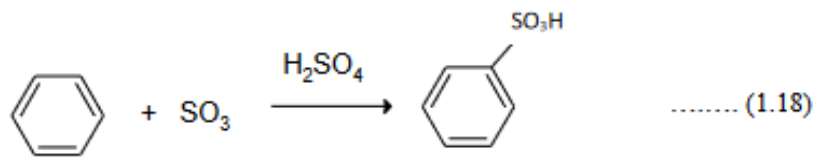


Mekanisme:



3. Sulfonasi

Benzena bereaksi dengan sulfur trioksida dengan adanya H_2SO_4 membentuk *benzene sulfuric acid*.



1.4.1.2. Asam Nitrat

- Sifat Fisika Nitrat (Kirk, 1996)

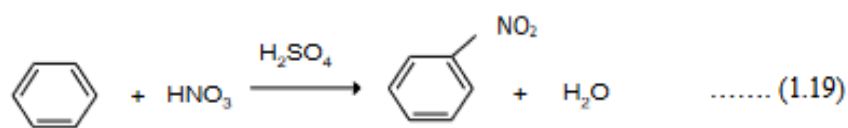
Rumus molekul : HNO_3

Kenampakan : cairan tidak berwarna

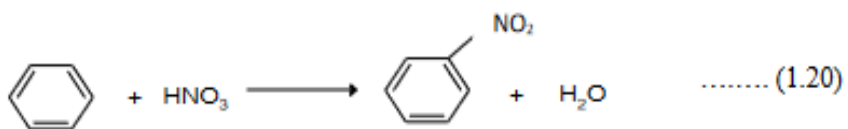
| | |
|------------------------|---|
| Berat molekul | : 63,01 g/gmol |
| Titik didih | : 118,2°C (pada 1 atm) |
| Titik lebur | : -18,47°C (pada 1 atm) |
| Densitas | : 1,3667 g/cm ³ (pada 20°C) |
| Viskositas | : 2,0 cP (pada 25°C) |
| Panas pembentukan (Hf) | : -1.056,04 kJ/mol |
| Panas pencampuran | : 29,12 kJ/mol |
| Kelarutan | : larut dalam air panas dan dingin |
| Kemurnian | : 60% HNO ₃ dan 40% H ₂ O |

- Sifat Kimia Nitrat (Fessenden, 1997)

Asam nitrat adalah suatu asam monobasa yang kuat, yang mudah bereaksi dengan alkali, oksida dan senyawa basa dalam bentuk garam. Asam nitrat merupakan senyawa



ng dinitrasi



1.4.1.3. Asam Sulfat

- Sifat Fisika Asam Sulfat (Kirk,1996)

| | |
|------------------------|--|
| Rumus molekul | : H ₂ SO ₄ |
| Kenampakan | : cairan pekat tidak berwarna |
| Berat molekul | : 98,08 g/gmol |
| Titik didih | : 274°C (pada 1 atm) |
| Titik lebur | : 10,49°C (pada 1 atm) |
| Densitas | : 1,84 g/cm ³ (pada 20°C) |
| Panas pembentukan (Hf) | : -193,7 kJ/mol |
| Panas pencampuran | : 2,36 kJ/mol |
| Kemurnian | : 98% H ₂ SO ₄ dan 2% H ₂ O |

- Sifat Kimia Asam Sulfat (Fessenden, 1997)

1. H₂SO₄ bereaksi dengan HNO₃ membentuk ion nitrit/nitronium (NO₂⁺) yang sangat penting dalam suatu reaksi nitrasi.



2. H₂SO₄ mempunyai gaya tarik yang besar terhadap air dan membentuk senyawa-senyawa hidrat seperti H₂SO₄ · H₂O dan H₂SO₄ · 2H₂O.
3. Dalam reaksi nitrasi, sifat H₂SO₄ ini mencegah HNO₃ membentuk ion hidrogen (H⁺) dan ion nitrat (NO₃⁻) dan hanya membentuk ion nitronium (NO₂⁺).

1.4.2. Bahan Pembantu

1.4.2.1. Larutan Natrium Hidroksida

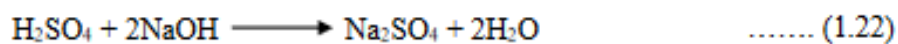
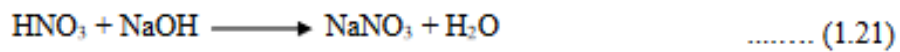
- Sifat Fisika Natrium Hidroksida (Kirk, 1996)

| | |
|---------------|-----------------------------|
| Rumus molekul | : NaOH dan H ₂ O |
|---------------|-----------------------------|

| | |
|-------------|--|
| Ketampakan | : cairan tidak berwarna |
| Titik didih | : 140°C (pada 1 atm) |
| Titik lebur | : 12°C (pada 1 atm) |
| Densitas | : 2,13 g/cm ³ (pada 20°C) |
| Kelarutan | : larut dalam air, alkohol, gliserol, dan eter |
| Kemurnian | : 48% NaOH dan 52% H ₂ O |

- Sifat Kimia Natrium Hidroksida (Fessenden, 1997)

Dalam proses ini NaOH sebagai penetral asam campuran. Reaksi:



1.4.3. Produk

1.4.3.1. Nitrobenzena (Pruduk Utama)

- Sifat Fisika Nitrobenzena (Kirk, 1996)

Rumus molekul : C₆H₅NO₂



Kenampakan : cairan berwarna kuning muda (pucat)

Berat molekul : 123,11 g/gmol

Titik didih : 210°C (pada 1 atm)

Titik lebur : 5,85°C (pada 1 atm)

Densitas, : 1,199 g/cm³ (pada 25°C)

Viskositas : 2,17 cP (pada 15°C)

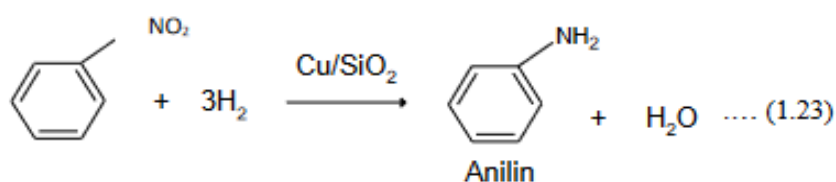
Kelarutan nitrobenzena dalam air : $\frac{3,452 \text{ g } C_6H_5NO_2}{1000 \text{ mL } H_2O}$

Kelarutan air dalam nitrobenzena : $\frac{3,624 \text{ g } H_2O}{1000 \text{ mL } C_6H_5NO_2}$

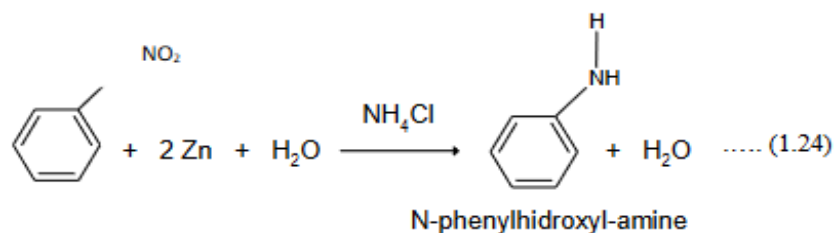
Kemurnian : 99,8% C₆H₅NO₂ dan 0,2% H₂O

- Sifat Kimia Nitrobenzena (Fessenden, 1997)

1. Reduksi Nitrobenzena dengan pereduksi Cu dan SiO₂



2. Reduksi Nitrobenzena dengan Zn dan katalis NH₄Cl



1.4.3.2. Air

- Sifat Fisika Air

Rumus molekul : H₂O

| | |
|----------------|-----------------------|
| Berat molekul | : 18,02 kg/kgmol |
| Titik didih | : 100°C |
| Suhu kritis | : 374°C |
| Tekanan kritis | : 217,7 atm |
| Kenampakan | : cair tidak berwarna |
| Densitas/ 20°C | : 0,99997 kg/L |

- Sifat Kimia Air

1. Air merupakan zat kimia yang terdiri dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Panjang ikatan O--H = 95,7 picometers. Sudut H--O--O = 104,5°. Energi ikatan O-H = 450 kJ/mol. Momen dipol = 1,83 debyes.
2. Atom – atom hidrogen tertarik pada satu sisi atom oksigen, menghasilkan molekul air yang mempunyai muatan positif pada atom hidrogen dan muatan negatif pada atom oksigen. Karena muatan yang berlawanan tersebut di dalam molekul air saling tarik menarik dan membuatnya menjadi lengket. Sisi positif dari suatu molekul air tertarik pada sisi negatif dari molekul yang lain.
3. Molekul air berbentuk seperti huruf V disebabkan karena, struktur geometrinya yang tetrahedral (109,5°) dan keberadaan pasangan elektron bebas pada atom oksigen.
4. Bersifat polar karena adanya perbedaan muatan.
5. Sebagai pelarut yang baik karena kepolarannya.
6. Bersifat netral (pH = 7) dalam keadaan murni.

1.4.3.3. Natrium Sulfat (produk amping)

- Sifat Fisika Natrium Sulfat

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| Rumus molekul | : Na_2SO_4 |
| Kenampakan | : bubuk putih higroskopis |
| Berat molekul | : 142,04 g/gmol |
| Densitas | : 2,66 g/cm ³ (pada 25°C) |
| Kelarutan | : larut dalam air |

- Sifat Kimia Natrium Sulfat (Perry, 2008)

1. Reaktifitas Na_2SO_4 cukup rendah pada suhu kamar dan sebaliknya sangat reaktif pada suhu tinggi.
2. Kristal Na_2SO_4 peka terhadap besi, senyawa besi dan beberapa senyawa organik.

1.4.3.4. Natrium Nitrat (Produk Samping)

- Sifat Fisika Natrium Nitrat

| | |
|---------------|------------------------------------|
| Rumus molekul | : NaNO_3 |
| Kenampakan | : bubuk putih |
| Berat molekul | : 84,9947 g/mol |
| Densitas | : $2,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ |
| Kelarutan | : larut dalam air |

- Sifat Kimia Natrium Nitrat sangat larut dalam amonia hidrasi larut dalam alkohol sedikit larut dalam pyridine, tidak larut dalam aseton. Natrium Nitrat diolah secara sintetis dengan

mereaksikan asam nitrat dengan natrium karbonat atau natrium bikarbonat (abu soda) serta dapat bereaksi dengan asam nitrat dan asam sulfat membentuk garam inorganik.

BAB VIII

KESIMPULAN

1. Perancangan pabrik nitrobenzena kapasitas 1700 ton/tahun dari benzena dan asam nitrat direncanakan didirikan di daerah Kawasan Industri Cilacap, Jawa Tengah. Proses yang digunakan dalam pembuatan nitrobenzena yaitu proses nitrasi dengan penggunaan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada kondisi operasi suhu 50 °C dan tekanan 1 atm. Reaksi berlangsung dalam fase cair – cair, irreversible, dan dalam kondisi isothermal. Pabrik direncanakan beroperasi selama 330 hari berbentuk perseroan terbatas (PT) dengan 109 karyawan yang terbagi menjadi karyawan shift dan nonshift.
2. Kebutuhan benzena diperoleh dari PT.Pertamina UP IV Cilacap dan asam nitrat dari PT. Multi Nitrotama Kimia Cikampek. Produksi Nitrobenzena yang dihasilkan sebanyak 214,6465 kg/jam dengan kebutuhan awal air untuk penyediaan unit utilitas sebanyak 104,1273 kg/jam yang digunakan untuk kebutuhan steam, air proses, dan air sanitasi.
3. Pabrik nitrobenzena yang didirikan ini dengan modal tetap sebesar Rp. 129,866,711,612.45 per tahun dengan modal kerja sebesar Rp. 22,539,885,975.59 per tahun menghasilkan keuntungan sebesar Rp. 24,256,985,618.54 per tahun sesudah mengalami pajak sebesar 20% dari keuntungan sebelum pajak. Precent return on investment (ROI) sebelum pajak sebesar 28,22% dan sesudah pajak sebesar 23%. Pay out time (POT) sebelum pajak dan sesudah pajak yaitu selama 2,6 tahun dan 3 tahun. Break Event Point (BEP) sebesar 40,21%, Shut Down Point (SDP) sebesar 15,37%, Discounted Cash Flow (DCF) sebesar 4,13%. Berdasarkan dari analisis kelayakan ekonomi dengan pertimbangan harga ROI, POT, BEP, SDP, untuk pabrik dengan resiko sedang diperoleh hasil kesimpulan bahwa pabrik nitrobenzena ini layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albinaly, Abdulrahman, et.al., *Literatur Survey Report of Production of Nitrobenzene.*, 2009., Kuwait University., Malaysia.
- Aries, and Robert S., 1955., *Chemical Engineering Cost Estimation.*, Mc graw.Hill Book Company., New york., London.
- Badan Pusat Statistik 2016, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri
- Badan Pusat Statistik 2017, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri
- Badan Pusat Statistik 2018, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri
- Badan Pusat Statistik 2019, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri
- Badan Pusat Statistik 2020, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri
- Brownell, Lloyd E., and Young, Edwin H., 1979., *Process Equipment Design.*, 1959. America.
- Faith Keyes and Clark., 1957, *Industrial Chemical*, 4th ed, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Fessenden, R.J., J.S, 1997., *Dasar – Dasar Kimia Organik*. Diterjemahkan oleh Maun, S., Anas, A and Sally, S., Jakarta : Binarupa Aksara.
- Hougen, Olaf A. and Kenneth M. Watson., 1955, *Chemical Process Principles.*, John Wiley and Sons Inc. Chapman and Hall., London.
- Mc. Cabe, Warren L., Smith, Julian C., and Harriot Peter., 1998., *Unit Operation of Chemical Engineering.*, 5th ed., Singapore.
- McKetta, John J.,1990, *Chemical Processing Handbook*, Marcel Dekker inc., New York.
- Kirk, R. and Othmer, F.D., 1996, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th ed., John Wiley & Sons Inc., New York.
- Ludwig, Ernest. E., 1964., *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants.*, vol. 1., 3th ed., 1964.

- Perry, R.H. and Green, D.W., 1999, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed., McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Robbert, D Newton., 1955., *Chemical Engineering Cost Estimation.*, American Radistor and Standart Sanitation Corporation., Toronto., London.
- Smith, W.S., Hauser, S.L., Easton, J.D., 2001. *Cerebrovaskuler Dissease*. New York., McGraw-Hill pp.
- Sykes, Peter.,1985, *A guidebook to mechanism in organic chemistry.*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Timmerhouse, Klaus. D., 1991., *Plant Design and Economics for Chemical Engineer.*, 4th ed., McGraw Hill International Edition., Singapore.
- United States Patent No. 2,773,911. 11 Desember 1956
- United States Patent No. 4,772,757. 20 September 1988
- United States Patent No. 4,091,042 13 Oktober 1983
- Vilbrandt, Frank C., Dryden, Charles E., 1959., *Chemmmical Engineering Plant Design.*, 4th ed., New York.
- Www. bi. go. id. 19 Juni 2022
- Yaws, C. L., 1999 "*Chemical Properties Handbook*". McGraw Hill Company, Inc., New York.
- Yulianto, Yogo Tri., 2010., *Prarancangan Pabrik Nitrobenzena dari Benzena dan Asam Campuran dengan Proses Kontinyu Kapasitas 120000 ton/tahun.*, Universitas Muhammdiyah., Surakarta.