

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era industrialisasi dan pasar global, industri kimia berperan penting dalam menopang sektor hilir, mulai dari industri polimer, farmasi, agrokimia, hingga otomotif. Kemampuan dalam memproduksi bahan kimia menjadikannya sebagai penentu daya saing. Salah satu bahan kimia yang hingga saat ini belum diproduksi secara domestik di Indonesia adalah Fenilamina ($C_6H_5NH_2$), yaitu senyawa intermediate yang berperan penting dalam mendukung berbagai proses pada industri kimia dasar (Rosa, 2024). Diindustri Fenilamina dihasilkan melalui proses hidrogenasi nitrobenzena dan menjadi komponen utama dalam produksi Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI), yang digunakan untuk membuat busa poliuretan dan isolasi untuk lemari es, freezer, dan bangunan. Selain itu, Fenilaminadigunakan sebagai bahan perantara dalam pembuatan pewarna, akselerator industri karet, pestisida, serta bahan baku dalam industry (Senchez et al., 2024). Kontribusi Fenilaminadalam kebutuhan bahan baku industri memiliki nilai tambah dalam sektor manufaktur.

Kebutuhan Fenilamina terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan industri manufaktur yang pesat. Khususnya sektor poiuretan dalam memproduksi *methylene diphenyl diisocyanate* (MDI). Namun Indonesia hingga saat ini belum memiliki produksi Fenilaminaskala industri, shingga seluruh kebutuhan dalam negri masih mengandalkan impor. Ketergantungan tersebut berdampak dalam pengeluaran devisa, kerentanan pasokan bahan baku serta ketidakstabilan harga dipasar global yang menjadikannya tantangan dalam mewujudkan industry kimia.

Dari sisi teknologi, produksi Fenilaminadapat dilakukan melalui beberapa metode, namun hidrogenasi katalitik nitrobenzena merupakan metode yang paling banyak diterapkan dalam industri modern karena efisiensinya yang tinggi dan pembentukan produk samping yang minimal. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh pemilihan katalis dan jenis reaktor. Penggunaan katalis Cu-Ni/SiO₂ serta penerapan reaktor fluidized bed pada proses hidrogenasi fase uap memberikan keunggulan dalam pengendalian panas, peningkatan kontak gas-padat, serta kestabilan operasi kontinu (Diao et al., 2005). Namun perlu dikaji lebih lanjut sebagai dasar evaluasi kelayakan teknis serta prancangan proses.

1.4.1 Sejarah

Fenilamina pertama kali ditemukan oleh Otto Unverdorben pada tahun 1826 melalui destilasi indigo, yang kemudian diikuti oleh berbagai penelitian lanjutan mengenai sifat dan struktur senyawa ini. Tonggak awal produksi industri Fenilaminadimulai pada pertengahan abad ke-19 ketika Béchamp pada tahun 1854 mengembangkan metode reduksi nitrobenzena menggunakan bubuk besi dan asam, yang selanjutnya dikembangkan ke skala industri oleh Perkin pada tahun 1857. Proses ini menjadi metode manufaktur komersial pertama Fenilaminadan menandai awal sejarah panjang industri fenilamine, terutama sebagai bahan baku utama dalam industri zat warna sintetis yang berkembang pesat di Eropa pada masa itu (Rasmussen, 2017).

Seiring berkembangnya industri kimia, teknologi produksi Fenilaminajuga mengalami diversifikasi yang dipengaruhi oleh ukuran pasar, ketersediaan bahan baku, peralatan proses, dan sistem pengendalian pada masanya. Pada tahun 1930-an dikembangkan proses aminasi klorobenzena, yang kemudian diikuti oleh terobosan besar berupa proses hidrogenasi katalitik nitrobenzena setelah Perang Dunia II pada sekitar tahun 1950-an. Proses hidrogenasi ini dianggap sebagai teknologi inovatif karena efisiensi tinggi dan fleksibilitasnya, serta diterapkan dalam berbagai konfigurasi reaktor seperti fase cair, fase uap, unggun tetap, dan unggun terfluidisasi. Selanjutnya, pada tahun 1960-an ditemukan proses aminasi fenol, dan pabrik komersial pertama berbasis proses ini dibangun di Jepang, memperkaya pilihan teknologi produksi Fenilamina secara global (Kaminaka, 1985).

Meskipun berbagai proses baru terus dikembangkan, hingga saat ini industri Fenilaminamasih menggunakan beberapa rute produksi secara bersamaan, kecuali proses aminasi klorobenzena yang mulai ditinggalkan. Hal ini disebabkan oleh keunggulan relatif masing-masing proses, baik dari segi sumber bahan baku, kondisi operasi, pemanfaatan produk samping, maupun kualitas dan hasil produk. Menurut Kaminaka, (1985) meninjau bahwa konsumsi Fenilaminasecara domestik dan global didominasi oleh industri kimia karet dan terutama produksi MDI untuk poliuretan, yang digunakan dalam aplikasi struktural, bahan kemasan, perekat, dan pelapis. Meskipun permintaan Fenilaminasempat menurun tajam akibat krisis minyak pada awal 1970-an, tren jangka panjang menunjukkan pemulihan dan proyeksi pertumbuhan yang stabil, seiring meningkatnya kebutuhan industri poliuretan. Kondisi ini menegaskan bahwa evolusi teknologi produksi Fenilaminatidak hanya ditentukan oleh inovasi proses, tetapi juga oleh dinamika pasar dan kebutuhan industri hilir.

1.4.2 Alasan Pendirian Pabrik

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan fenilamina sebagai bahan baku dan bahan pendukung dalam berbagai industri kimia, pendirian pabrik fenilamina di Indonesia menjadi langkah strategis dalam mendukung pengembangan industri nasional. Fenilamina memiliki peranan penting sebagai senyawa intermediate yang digunakan secara luas dalam industri poliuretan, karet, pewarna sintesis, farmasi, dan bahan kimia khusus lainnya. Hingga saat ini, kebutuhan fenilamina di Indonesia masih dipenuhi melalui impor, sehingga keberadaan pabrik fenilamina dalam negeri diharapkan mampu memenuhi kebutuhan industri nasional secara berkelanjutan. Selain itu, pendirian pabrik fenilamina dapat memberikan dampak positif terhadap perekonomian nasional melalui peningkatan nilai tambah industri kimia, penciptaan lapangan kerja, serta pengurangan ketergantungan terhadap produk impor, sehingga dapat meningkatkan daya saing industri kimia Indonesia.

Berdasarkan kajian literatur yang dilakukan, fenilamina merupakan salah satu senyawa aromatik amina yang memiliki peran sangat strategis dalam industri kimia sebagai intermediate utama. Anjali et al. (2020) menjelaskan bahwa fenilamina digunakan secara luas sebagai bahan baku dalam sintesis berbagai produk kimia bernilai tinggi, seperti poliuretan, bahan kimia karet, pewarna sintesis, serta senyawa farmasi. Posisi fenilamina sebagai intermediate menjadikannya penghubung penting dalam rantai produksi berbagai senyawa turunan, sehingga keberlanjutan pasokan fenilamina sangat menentukan kelancaran operasional industri hilir. Selain itu, sifat kimia fenilamina yang memiliki gugus amina pada cincin aromatik memberikan tingkat reaktivitas yang tinggi, sehingga memungkinkan pengembangan berbagai jalur reaksi dan produk turunan secara efisien dalam skala industri.

Dari perspektif pasar dan pengembangan industri jangka panjang, fenilamina juga memiliki prospek yang sangat menjanjikan. Laporan analisis pasar menunjukkan bahwa permintaan fenilamina global terus mengalami pertumbuhan signifikan, yang terutama didorong oleh meningkatnya kebutuhan industri poliuretan sebagai aplikasi utama fenilamina. Selain itu, Wiley & Sons (2007) menyatakan bahwa fleksibilitas kimia Fenilaminamemungkinkan satu jenis bahan baku dikembangkan menjadi berbagai produk turunan bernilai tambah tinggi, sehingga menjadikannya sebagai *platform chemical* dalam industri kimia modern. Kondisi ini semakin diperkuat oleh fakta bahwa Indonesia hingga saat ini belum memiliki kapasitas produksi fenilamina dalam negeri yang memadai, sementara kebutuhan industri hilir terus meningkat. Oleh karena itu, pendirian pabrik fenilamina di Indonesia memiliki signifikansi strategis

dalam mendukung kemandirian industri kimia nasional serta sejalan dengan upaya hilirisasi dan penguatan struktur industri berbasis kimia.

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas produksi yang menguntungkan digunakan beberapa pertimbangan yaitu prediksi kebutuhan Fenilamina di Indonesia, ketersediaan bahan baku dan ketentuan kapasitas minimum.

1.2.1 Kebutuhan

Kapasitas produksi Fenilamina ditentukan berdasarkan besarnya kebutuhan fenilamina di dalam negeri. Informasi mengenai kebutuhan fenilamina di Indonesia dapat diperoleh melalui data impor yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), mengingat hingga saat ini fenilamina belum diproduksi secara komersial di dalam negeri sehingga saat ini fenilamina belum diproduksi secara komersial di dalam negeri sehingga saat ini fenilamina belum diproduksi secara komersial di dalam negeri sehingga seluruh kebutuhan nasional masih dipenuhi dari impor

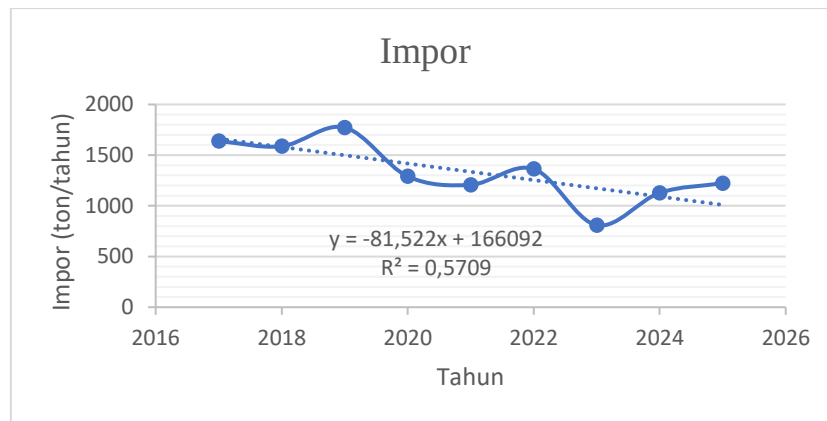
Berdasarkan data yang dihimpun dari Badan Pusat Statistik (BPS), dapat diketahui bahwa kebutuhan fenilamina di Indonesia menunjukkan kecenderungan meningkat setiap tahunnya. Peningkatan kebutuhan ini sejalan dengan berkembangnya industri – industri pengguna fenilamina, sehingga diperlukan upaya penyediaan fenilamina dalam negeri guna mengurangi ketergantungan terhadap impor

Data kebutuhan fenilamina di Indonesia pada periode tahun 2015 hingga 2025 disajikan pada Tabel 1.1 yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan kapasitas produksi pabrik fenilamina yang direncanakan

Tabel 1.1 Data Impor Fenilamina tahun 2015-2025 (Badan Pusat Statistik, 2025)

Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)	%P
2015	1408.563	-
2016	1709.15	21.33997556
2017	1638.091	-4.157563701
2018	1587.733	-3.074188186
2019	1772.738	11.65214806
2020	1290.836	-27.18405089
2021	1207.256	-6.474873648
2022	1363.802	12.96709232
2023	808.888	-40.68875101

Tahun	Kebutuhan (ton/tahun)	%P
2024	1128.003	39.45107357
2025	1223.742	8.487477427
Total	15138.8	12.31833951



Gambar 1 1 Grafik kebutuhan Fenilamina di Indonesia

Penentuan kapasitas pabrik Fenilamina dilakukan dengan mempertimbangkan rata rata kebutuhan fenilamina yang mulai beroperasi pada tahun 2029 dengan metode discounted (pertumbuhan rata-rata pertahun), sebagai berikut :

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

(Peters & Timmerhaus, n.d.)

Keterangan :

m = Jumlah produk pada tahun – tahun mendatang (ton/tahun)

P = Data besarnya impor tahun 2025 (ton/tahun)

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

n = Selisih tahun (tahun proyeksi – 2025)

Berikut hasil perhitungan proyeksi kebutuhan impor fenilamina di Indonesia pada tahun 2029 berdasarkan data dari BPS.

$$m(2029) = 1223 \times (1 + 1.231833951)^4$$

$$m(2029) = 30,362.490 \text{ ton/tahun}$$

Tabel 1.2 Beberapa Pabrik Berbahan Fenilamina di Indonesia ICIS (Burridge, 2010).

No	Pabrik	Industri	Lokasi
1.	PT. Polyurethane Indonesia	Poliuretan	Jawa Barat
2.	PT. Indo Kordsa Tbk	Tekstil & Pewarna	Bogor

No	Pabrik	Industri	Lokasi
3.	PT. Nippon Paint Indonesia	Cat & Pelapis	Cibitung
4.	PT. Bayer Indonesia (Kimia)	Farmasi & Pestisida	Jakarta

Kemudian untuk penentuan kapasitas pabrik sebaiknya berdasarkan kebutuhan konsumsi di Indonesia. Pabrik Fenilamina belum pernah dibangun di Indonesia sehingga untuk melihat data kapasitas minimum yang telah diproduksi perlu dilihat dari data pabrik yang ada di luar negeri dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1.3 Beberapa Pabrik Berbahan Fenilamina global ICIS (Burrige, 2010).

Industri	Kapasitas (ton/tahun)	Lokasi
BASF	430.000	Antwerp, Belgium
	264.000	Loisiana, US
	60.000	Yocheon, South Korea
	140.000	Yoeosu, South Korea
Bayer	140.000	Antwerp, Belgium
	180.000	Brunsbüttel, Germany
	166.000	Krefeld, Germany
	60.000	Sao Paulo, Brazil
Dow Chemical	130.000	Bohlen, Germany
	125.000	Estarreja, Portugal
DuPont	250.000	Texas, US
	150.000	Texas, US
	240.000	Mississippi, US
Shandong Haihua	50.000	Weifang China
Sinopec Chemical	135.000	Nanjing, China
Volzhskiy Orgsintez	50.000	Novomoskovsk, Russia
Narmada Chematur Petrochemicals	20.000	Gujarat, India

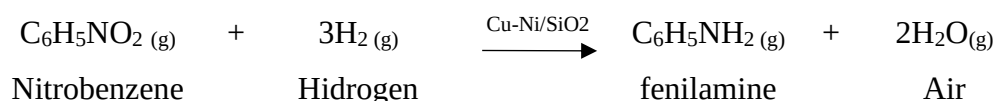
Berdasarkan data yang tersedia, Narmada Chematur Petrochemicals di Kyoto, Jepang, memiliki kapasitas produksi terendah, yaitu sebesar 20.000 ton/tahun. Sementara itu, Huntsman yang berlokasi di Louisiana, Amerika Serikat, memiliki kapasitas produksi tertinggi, yaitu mencapai 460.000 ton/tahun. Kapasitas produksi pabrik yang masih beroperasi tersebut menunjukkan bahwa produksi pada skala tersebut masih memiliki potensi untuk memberikan keuntungan secara komersial.

Dengan demikian, kapasitas produksi minimum yang dapat menghasilkan keuntungan diperkirakan sebesar 20.000 ton/tahun. Oleh karena itu, pabrik yang akan dirancang sebaiknya memiliki kapasitas produksi sekurang-kurangnya 20.000 ton/tahun agar dapat mencapai kelayakan dan keuntungan secara ekonomis. Dengan melakukan pertimbangan sngka proyeksi dari kebutuhan fenilamina di Indonesia dan kapasitas minimum pabrik yang sudah ada. Kapasitas pabrik baru yang belum berdiri di Indonesia adalah dikalikan 1.5 dari nilai proyeksi sehingga didapatkan :

$$m(2029) = 30,362.490 \times 1.5 = 45,543.73506 \text{ ton/tahun}$$

1.2.2 Ketersediaan bahan baku

Untuk menentukan kebutuhan bahan baku pembuatan Fenilamine dapat dilakukan dengan perhitungan stoikiometri, dimana kapasitas produksi yang akan digunakan sebesar 46.000 ton/tahun. Sehingga kebutuhan Nitrobenzene dan Gas Hidrogen sebagai berikut :



$$\text{Mr C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 123.11 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr H}_2 = 2.016 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 = 93.13 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr H}_2\text{O} = 18.015 \text{ g/mol}$$

1. Hitung mol Fenilamine yang di produksi per tahun

$$\text{Mol Fenilamine} = \frac{\text{kapasitas produksi per tahun}}{\text{mol fenilamine}}$$

$$\text{Mol Fenilamine} = \frac{46000000}{93.13}$$

$$\text{Mol Fenilamine} = 493933.2116 \text{ kmol/tahun}$$

2. Hitung mol nitrobenzene yang dibutuhkan (Stoikiometri 1:1)

$$\text{Mass Nitrobenzene} = \text{Mol Fenilamine} \times \text{Mr Nitrobenzene}$$

$$\text{Mass Nitrobenzene} = 493933.2116 \times 123.11$$

$$\text{Mass Nitrobenzene} = 60808117.68 \text{ kg/tahun}$$

$$\text{Mass Nitrobenzene} = 60808,11768 \quad \text{ton/tahun}$$

3. Hitung mol hidrogen yang dibutuhkan (Stoikiometri 3:1 terhadap Fenilamine)

$$\text{Mol H}_2 = 3 \times 493933.2116$$

$$\text{Mol H}_2 = 1481799.635 \quad \text{kmol/tahun}$$

$$\text{Massa H}_2 = \text{Mol H}_2 \times \text{Mr H}_2$$

$$\text{Massa H}_2 = 1481799.635 \times 2.016$$

$$\text{Massa H}_2 = 29287308.064 \quad \text{kg/tahun}$$

$$\text{Massa H}_2 = 2987.308064 \quad \text{ton/tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan stoikiometri reaksi hidrogenasi nitrobenzene menjadi fenilamina, kebutuhan bahan baku untuk memenuhi kapasitas produksi fenilamina sebesar 46.000 ton/tahun dapat ditentukan secara kuantitatif. Reaksi berlangsung dengan perbandingan mol nitrobenzene dan fenilamina sebesar 1:1 serta hidrogen 3:1 terhadap fenilamina (CN, 2022). Dari kapasitas produksi tersebut diperoleh kebutuhan fenilamine sebesar 493,933.21 kmol/tahun. Dengan demikian jumlah nitrobenzene yang dibutuhkan juga sebesar 493,933.21 kmol/tahun, yang setara dengan 60,808,117.68 kg/tahun atau sekitar 60,808.12 ton/tahun. Sementara itu kebutuhan gas hidrogen mencapai 1,481,799.64 kmol/tahun atau setara dengan 2,987,308.06 kg/tahun atau 2,987.31 ton/tahun

Besarnya kebutuhan nitrobenzene dan hidrogen ini menjadi dasar dalam analisis ketersediaan bahan baku untuk perancangan pabrik fenilamine. Dengan jumlah kebutuhan yang telah dihitung secara pasti, evaluasi lebih lanjut terhadap pasokan bahan baku, kontinuitas suplai serta integritas dengan industri hulu dapat dilakukan untuk menjamin keberlangsungan operasi pabrik secara ekonomis dan berkelanjutan

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

1.3.1 Ketersediaan bahan baku

Bahan baku merupakan faktor utama yang menentukan keberlangsungan operasi pabrik, sehingga ketersediaannya harus diperhatikan secara cermat. Pemilihan lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku bertujuan untuk menjamin kontinuitas pasokan serta menekan biaya transportasi. Pada proses produksi nitrobenzena, bahan baku utama yang digunakan adalah benzena dan asam nitrat. Oleh karena itu, pabrik yang akan didirikan sebaiknya mempertimbangkan kedekatan dengan

sumber bahan baku, baik dari dalam negeri maupun luar negeri. Tabel berikut menunjukkan ketersediaan bahan baku benzena di Indonesia serta produsen nitrobenzena di luar negeri sebagai gambaran kapasitas produksi yang ada.

Berdasarkan data pada Tabel 1.4 dan Tabel 1.5, ketersediaan benzena di dalam negeri berasal dari beberapa pabrik yang tersebar di wilayah industri utama seperti Cilegon, Gresik, Surabaya, Cilacap, dan Jakarta, dengan total kapasitas yang cukup besar. Selain itu, produsen nitrobenzena di luar negeri juga memiliki kapasitas produksi yang signifikan, sehingga dapat menjadi alternatif sumber pasokan apabila diperlukan. Dengan mempertimbangkan kapasitas bahan baku yang tersedia, lokasi pabrik sebaiknya dipilih pada daerah yang dekat dengan sumber benzena, khususnya di kawasan industri yang memiliki infrastruktur dan jaringan distribusi yang memadai. Hal ini bertujuan untuk menjamin ketersediaan bahan baku secara berkelanjutan serta meningkatkan efisiensi operasional pabrik.

Tabel 1.4 Pabrik Hidrogen di Indonesia ICIS (Burridge, 2010).

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
PT Air Liquide Indoneisa	Cilegon, Banten	218.176
PT samator Gresik	Gresik, Jawa Timur	96.960
PT Linde Indonesia	Cikarang, Jawa Barat	48.480
PT Aneka Gas Industri	Surabaya, Jawa Timur	48.480
PT sarimitra Jaya	Jakarta	15.000

Tabel 1.5 Pabrik Nitrobenzene Pabrik Luar Negeri ICIS (Burridge, 2010).

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Fenilaminea de Portugal	Estarreja, Portugal	160.000
Huntsman	Wilton, UK	400.000
CZ Zachem	Bydgoszcz, Poland	20.000
MCHZ	Ostrava, Czech Republic	140.000
DuPont	Beaumont, Texas	172.000
Rubicon	Geismar, Lousianna	518.000
Bayer	Rio de Jenairo, Brazil	32.000
BASF	Yosu, South Korea	80.000
Bann Quimica	Sao Poulo, Brazil	15.000

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
CBP	Camacari, Brazil	14.000
Mitsui Chemical	Japan	60.000

1.3.2 Pemasaran/ Marketing

Fenilamine merupakan senyawa kimia aromatik yang berperan sebagai bahan baku penting dalam berbagai industri kimia hilir, terutama dalam produksi methylene diphenyl diisocyanate (MDI) untuk industri poliuretan, pigmen organik untuk industri cat dan pelapis, serta intermediate dan bahan aktif farmasi (API) untuk industri obat-obatan. Produk-produk turunan fenilamine tersebut memiliki tingkat permintaan yang tinggi karena digunakan secara luas pada sektor furnitur, otomotif, konstruksi, kemasan, dan kesehatan. Oleh karena itu, keberadaan pabrik fenilamine yang relatif dekat dengan kawasan industri pengguna akan mempermudah proses distribusi bahan baku, menurunkan biaya logistik, serta meningkatkan efisiensi rantai pasok. Adapun beberapa industri di Indonesia yang menggunakan turunan fenilamine sebagaimana tercantum pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Industri Membutuhkan Fenilamine

Nama Pabrik	Provinsi	Fenilamine
PT Tri Sukses Jaya (vita Foam)	Tangerang, banten	MDI
PT INOAC Polytechno Indonesia	Karawang	MDI
PT Kalbe Farma Tbk	Jakarta, DKI Jakarta	API & intermediate
PT Avia Avian Tbk	Surabaya, jawa timur	Pigmen azo
Nippon Paint Indonesia	Bekasi, jawa barat	Pigmen arylamine
PT Jotun Indonesia	Cileungsi, jawa barat	Pigmen
PT Huntsman	Cilegon, banten	MDI
PT BASF Indonesia	Cilegon, banten	MDI

Nama Pabrik	Provinsi	Fenilamine
Dow Indomesia	Jakarta Pusat, DKI Jakarta	MDI
PT Kimia Farma	Bandung, Jawa barat	API
PT Indofarma Tbk	Bekasi, jawa barat	API
PT Dixa Medica	Cikarang, jawa barat	API

Berdasarkan Tabel 1.6 ditinjau dari persebaran industri pengguna turunan fenilamine, wilayah yang memiliki potensi terbesar sebagai pasar utama produk fenilamine berada di Provinsi Banten khususnya Kota Tangerang dan Cilegon, serta Provinsi Jawa Barat khususnya kawasan industri Bekasi, Karawang, Cikarang, dan Bandung. Wilayah-wilayah tersebut merupakan pusat industri poliuretan, cat dan pelapis, serta farmasi yang memanfaatkan turunan fenilamine berupa MDI, pigmen organik, dan API farmasi dalam skala besar. Tingginya konsentrasi industri di kawasan ini menunjukkan bahwa permintaan terhadap produk turunan fenilamine terakumulasi secara signifikan, sehingga wilayah Banten dan Jawa Barat menjadi pusat pemasaran terbesar bagi produk fenilamine di Indonesia.

1.3.3 Utilitas

Dalam konteks pabrik atau kawasan industri, *unit utilitas* merupakan kumpulan fasilitas pendukung yang menyediakan sumber daya dan layanan penting agar proses produksi dapat berjalan secara efisien dan berkelanjutan. Utilitas tidak menghasilkan produk akhir secara langsung, tetapi menyediakan media dan energi seperti air, listrik, uap (steam), udara tekan, dan sistem pendingin yang dibutuhkan dalam operasi peralatan pabrik. Secara operasional, unit utilitas menjaga stabilitas proses, mendukung kelancaran produksi, serta meminimalkan gangguan operasional dan risiko keselamatan yang dapat terjadi jika kebutuhan media tersebut tidak terpenuhi. Di literatur teknik dipaparkan bahwa unit utilitas meliputi unit pengolahan air, pembangkit tenaga listrik, penyedia steam, hingga sistem pendingin dan udara, baik diproduksi secara internal maupun dibeli dari pemasok eksternal sesuai kebutuhan pabrik.

Air bersih adalah komponen utilitas yang sangat krusial dalam operasi industri karena berfungsi dalam berbagai aspek, mulai dari air proses, air sanitasi, hingga air umpan boiler dan pendingin. Kebutuhan air bersih tidak hanya sekadar jumlah volume, tetapi juga terkait kualitas air yang dipergunakan agar proses produksi berjalan tanpa kontaminasi serta memenuhi standar teknis dan lingkungan. Dalam perencanaan

kawasan industri, penyediaan air bersih yang andal harus mempertimbangkan sumber, kualitas pengolahan, dan distribusi agar tidak terjadi kekurangan terutama pada jam puncak penggunaan. Ketersediaan air bersih yang baik juga mendukung aspek kesehatan dan keselamatan kerja serta berkontribusi pada keberlanjutan operasional fasilitas industri secara keseluruhan.

Berdasarkan publikasi Direktori Perusahaan Air Bersih, Listrik, dan Gas Tahun 2025 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah perusahaan air bersih di Pulau Jawa mencapai 116 perusahaan yang tersebar di 6 provinsi. Berikut jumlah perusahaan air bersih di pulau jawa pada Tabel 1.7

Tabel 1.7 Perusahaan Air Bersih di Pulau Jawa (BPS, 2025)

No	Provinsi	Jumlah Perusahaan Air Bersih
1.	DKI Jakarta	5
2.	Jawa Barat	26
3.	Jawa Tengah	35
4.	DI Yogyakarta	6
5.	Jawa Timur	39
6.	Banten	5

Pada publikasi Direktori Perusahaan Air Bersih menunjukkan bahwa Pulau Jawa memiliki konsentrasi perusahaan air bersih yang cukup besar dibandingkan wilayah lain di Indonesia, seiring dengan tingginya jumlah penduduk, aktivitas industri, dan tingkat urbanisasi. Keberadaan perusahaan-perusahaan air bersih tersebut berperan penting dalam penyediaan air untuk kebutuhan domestik, komersial, maupun industri, sehingga menjadi salah satu indikator penting dalam penentuan lokasi pembangunan fasilitas industri.

Sumber air permukaan seperti air sungai sering digunakan oleh industri sebagai pemasok air baku sebelum melalui unit pengolahan *water treatment*. Air sungai umumnya dimanfaatkan karena ketersediaannya relatif besar dan lebih mudah diakses dibandingkan air tanah, namun tetap memerlukan pengolahan untuk memenuhi kualitas air yang dibutuhkan di industri. Air sungai yang diolah dapat dipergunakan untuk air proses, air sanitasi, serta air pendingin peralatan industri setelah melalui tahapan filtrasi dan desinfeksi sesuai standar kualitas yang ditetapkan. Penggunaan air sungai harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan dampak negatif pada ekosistem sekitar

dan memenuhi tuntutan regulasi lingkungan. Berikut data sungai panjang yang ada di pulau jawa pada Tabel 1.7

Tabel 1.7 Sungai Panjang Pulau Jawa

No	Nama Sungai	Panjang	Letak Utama
1.	Sungai Bengawan Solo	600 km	Jawa Tengah
2.	Sungai Brantas	320 km	Jawa Timur
3.	Sungai Citarum	300 km	Jawa Barat
4.	Sungai Serayu	181 km	Jawa Tengah
5.	Sungai Citanduy	175 km	Jawa Barat
6.	Sungai Ciujung	147 km	Banten
7.	Sungai Progo	138 km	Jawa Tengah – DIY
8.	Sungai Cidanau	30-40 km	Banten - Cilegon

Berdasarkan data sungai-sungai utama di Pulau Jawa yang disajikan pada Tabel 1.8, wilayah bagian barat Pulau Jawa, termasuk Provinsi Banten, memiliki sumber air permukaan yang dapat dimanfaatkan sebagai penyedia air baku industri. Meskipun tidak dilalui sungai besar seperti Bengawan Solo atau Brantas, kawasan Cilegon didukung oleh keberadaan Sungai Cidanau yang berfungsi sebagai sumber air utama bagi kawasan industri setempat. Sungai ini memiliki daerah tangkapan air yang dilindungi dan dimanfaatkan secara khusus untuk menyuplai kebutuhan air industri, sehingga ketersediaan air baku di wilayah Cilegon relatif terjamin.

Pasokan energi listrik merupakan salah satu utilitas yang paling fundamental dalam operasi industri modern. Tenaga listrik digunakan untuk menggerakkan mesin dan peralatan proses, sistem kontrol otomatisasi, penerangan, serta sistem pendukung fasilitas lainnya. Keandalan pasokan listrik baik dari jaringan umum seperti PLN maupun dari pembangkit internal berpengaruh langsung terhadap produktivitas pabrik; gangguan listrik sering kali berdampak pada penurunan output dan peningkatan biaya operasional. Studi di berbagai negara menunjukkan bahwa pasokan listrik yang stabil dan memadai dapat mendorong pertumbuhan sektor industri karena listrik merupakan input produksi yang sangat penting dan berkorelasi kuat dengan kinerja industri.

Tabel 1.8 Kapasitas Pembangkit Listrik Terbesar Pulau Jawa (BPS, 2025)

Pembangkit Listrik	Lokasi	Kapasitas
PLTU Paiton Power Station	Probolinggo, Jawa Timur	4710 MW
PLTU Tanjung Jati B	Jepara, Jawa Tengah	4640 MW
Suralaya Power Station	Cilegon, Banten	4025 MW
PLTU Batang	Batang, Jawa Tengah	2000 MW
Cirata (PLTA)	Purwakarta, Jawa Barat	1008 MW

Berdasarkan data publikasi Direktori Perusahaan Air Bersih, Listrik, dan Gas, pembangkit listrik, wilayah Cilegon didukung oleh keberadaan pembangkit listrik berkapasitas besar, seperti PLTU di kawasan Banten dan pembangkit di wilayah Jawa Barat. Kedekatan Cilegon dengan pusat-pusat pembangkit listrik tersebut memberikan keuntungan dalam hal kontinuitas pasokan energi, stabilitas operasional, serta kemudahan koneksi ke jaringan listrik nasional.

1.3.4 Transportasi

Transportasi merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang kegiatan industri karena berperan langsung dalam pengadaan bahan baku, distribusi produk, serta kelancaran rantai pasok. Sistem transportasi yang baik akan meningkatkan efisiensi biaya, keandalan pasokan, dan ketepatan waktu pengiriman, sehingga berpengaruh terhadap daya saing industri secara keseluruhan. Infrastruktur transportasi yang memadai juga mendukung aktivitas ekonomi dan logistik serta memperlancar arus perdagangan antarwilayah maupun antarnegara. Oleh karena itu, aspek transportasi menjadi pertimbangan utama dalam penentuan lokasi pabrik, terutama terkait kedekatan dengan sumber bahan baku, pasar, dan pelabuhan.

Dalam perdagangan internasional, transportasi laut memegang peranan yang sangat dominan karena mampu mengangkut barang dalam jumlah besar dengan biaya relatif rendah dibandingkan moda transportasi lainnya. Transportasi laut menjadi tulang punggung perdagangan global, di mana lebih dari 80% volume perdagangan barang dunia diangkut melalui jalur laut. Sistem pelayaran internasional menghubungkan pelabuhan-pelabuhan utama di berbagai negara sehingga memungkinkan perpindahan bahan baku, produk setengah jadi, dan produk akhir secara efisien. Oleh karena itu, keberadaan pelabuhan internasional yang dekat dengan lokasi pabrik akan sangat mendukung kegiatan ekspor-impor serta menjamin kelancaran pasokan bahan baku

maupun distribusi produk ke pasar global. Berikut Tabel 1.10 daftar Pelabuhan internasional yang ada di Indonesia khususnya di pulau Jawa, sebagai berikut

Tabel 1.9 Daftar Pelabuhan Internasional di Indonesia

No	Nama Pelabuhan	Lokasi Pelabuhan
1.	Pelabuhan Tanjung Priok	Jakarta
2.	Pelabuhan Tanjung Perak	Surabaya, Jawa Timur
3.	Pelabuhan Tanjung Emas	Semarang, Jawa Tengah
4.	Pelabuhan Merak	Cilegon, Banten
5.	Pelabuhan Ciwandan	Cilegon, Banten
6.	Pelabuhan Cigading	Cilegon, Banten

1.3.5 Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan pendirian pabrik kimia karena berpengaruh terhadap keberlangsungan operasional, biaya produksi, serta dampak sosial ekonomi wilayah. Ketersediaan tenaga kerja umumnya dianalisis melalui tingkat pengangguran terbuka, dimana persentase pengangguran yang relatif tinggi menunjukkan potensi ketersediaan sumber daya manusia yang belum terserap sektor industri. Dengan demikian, wilayah dengan tingkat pengangguran lebih besar memiliki peluang lebih tinggi untuk mendukung penyerapan tenaga kerja baru melalui pendirian industri manufaktur seperti pabrik fenilamine. Data tingkat pengangguran di berbagai provinsi di Indonesia sebagaimana ditunjukkan pada Tabel

Tabel 1.10 Data Pengangguran Wilayah Pulau Jawa

Provinsi	Persen
Dki Jakarta	6,05
Jawa Barat	6,77
Purwakarta	7, 54
Bekasi	7,33
Bandung	7,22
Karawang	7,99
Jawa Tengah	4,66
Semarang	3,63
Jepara	3,3

Provinsi	Persen
Batang	5,07
Di Yogyakarta	3,46
Surabaya	4,84
Probolinggo	4,93
Gresik	5,47
Banten	6,69

Berdasarkan Tabel 1.10, tingkat pengangguran tertinggi di wilayah Pulau Jawa tercatat di Provinsi Jawa Barat sebesar 6,77% dan Provinsi Banten sebesar 6,69%, diikuti oleh DKI Jakarta sebesar 6,05%. Sementara itu, provinsi lainnya seperti Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Jawa Timur menunjukkan tingkat pengangguran yang relatif lebih rendah. Tingginya persentase pengangguran di Jawa Barat dan Banten mengindikasikan ketersediaan tenaga kerja yang cukup besar dan belum terserap secara optimal oleh sektor industri.

Khususnya Provinsi Jawa Barat dan Banten yang merupakan pusat kawasan industri nasional, kondisi tersebut mencerminkan adanya kesenjangan antara pertumbuhan industri dan penyerapan tenaga kerja. Hal ini memberikan peluang yang signifikan bagi pendirian pabrik fenilamine untuk menyerap tenaga kerja lokal, baik pada sektor operasional pabrik, teknisi proses, maupun tenaga pendukung lainnya. Dengan demikian, ditinjau dari aspek tenaga kerja, wilayah Jawa Barat dan Banten memiliki potensi yang besar dalam mendukung pengembangan industri kimia karena ketersediaan sumber daya manusia yang melimpah serta infrastruktur industri yang telah berkembang.

1.3.6 Keadaan Geografis dan Masyarakat

Lokasi pabrik sebaiknya berada di wilayah yang relatif aman dari potensi bencana alam seperti gempa bumi, banjir, dan tanah longsor agar kegiatan operasional dapat berlangsung secara optimal dan berkelanjutan. Faktor geografis dan kondisi lingkungan menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan lokasi pabrik karena topografi, sistem drainase, serta karakteristik tanah sangat memengaruhi stabilitas bangunan dan tingkat risiko kerusakan fasilitas industri. Selain itu, kondisi iklim juga berperan dalam kelancaran proses produksi, sehingga pembangunan pabrik perlu mempertimbangkan karakteristik alam di wilayah sekitarnya. Tabel 1.8 menyajikan

data jumlah kejadian bencana alam di wilayah Pulau Jawa hingga Februari 2025 sebagai dasar analisis tingkat kerawanan lokasi.

Tabel 1.11 Jumlah Bencana Alam Di Wilayah Pulau Jawa

Provinsi	Bencana Alam
Dki Jakarta	13
Jawa Barat	258
Jawa Tengah	213
DI Yogyakarta	14
Jawa Timur	298
Banten	46

Berdasarkan Tabel 1.11, Provinsi Jawa Timur tercatat sebagai wilayah dengan jumlah kejadian bencana alam tertinggi sebesar 298 kasus, disusul oleh Jawa Barat dengan 258 kasus dan Jawa Tengah dengan 213 kasus. Sementara itu, tingkat kejadian bencana relatif lebih rendah terdapat di Provinsi DKI Jakarta sebanyak 13 kasus dan DI Yogyakarta sebanyak 14 kasus, serta Provinsi Banten dengan 46 kasus. Perbedaan jumlah kejadian bencana ini menunjukkan adanya variasi tingkat kerawanan geografis antarprovinsi di Pulau Jawa. Oleh karena itu, dalam perencanaan pendirian pabrik fenilamine, aspek keselamatan lingkungan perlu menjadi pertimbangan utama dengan mengutamakan wilayah yang memiliki intensitas bencana lebih rendah guna meminimalkan risiko gangguan operasional dan kerugian infrastruktur.

1.3.7 Site dan Karakteristik Lokasi

Berdasarkan pertimbangan faktor ketersediaan bahan baku, kedekatan pasar, utilitas, transportasi, tenaga kerja, dan kondisi geografis, dilakukan penilaian terhadap beberapa alternatif lokasi pendirian pabrik fenilamine sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.12:

Tabel 1.12 Metode Rating diberbagai Aspek

Lokasi	Bahan Baku	Letak Pasar	Utilitas	Transportasi	Tenaga Kerja	Letak Geografis	Total
DKI Jakarta	7	8	5	5	8	10	43
Jawa Barat	8	10	7	3	10	6	44
Jawa Tengah	3	3	10	5	6	7	34
DI Yogyakarta	3	3	6	3	4	9	28
Jawa Timur	9	7	9	5	5	5	40
Banten	10	9	8	10	9	8	54

Berdasarkan hasil penilaian tersebut, Provinsi Banten memperoleh nilai total tertinggi dibandingkan wilayah lainnya. Oleh karena itu, Kota Cilegon dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik fenilamine karena kedekatannya dengan pelabuhan industri serta kawasan petrokimia, yang sangat mendukung pengadaan bahan baku impor dan distribusi produk.

Gambar 1 2. Lokasi Pabrik



1.3.8 Peraturan Perundang - undangan

Secara legal, rencana pendirian pabrik fenilamina di Kota Cilegon telah sesuai dengan kebijakan penataan ruang daerah. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Cilegon Nomor 1 Tahun 2020 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Cilegon Tahun 2020–2040, wilayah Cilegon telah menetapkan kawasan peruntukan industri

sebagai bentangan lahan yang dialokasikan khusus untuk kegiatan industri. Ketentuan ini menjadi dasar legal bagi pengembangan industri, termasuk industri kimia, di wilayah tersebut. Selain itu, kebijakan pembangunan industri daerah juga diatur dalam Rencana Pembangunan Industri Kota (RPIK) Cilegon Tahun 2023–2043 yang disusun mengacu pada Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian dan Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN). Dokumen ini berfungsi sebagai pedoman strategis bagi pemerintah daerah dalam pengembangan sektor industri, termasuk industri kimia dasar dan turunannya, sehingga rencana pendirian pabrik fenilamina sejalan dengan arah kebijakan pembangunan industri Kota Cilegon.

Dari sisi struktur tata ruang, Kota Cilegon telah lama diarahkan sebagai kawasan industri berat, menengah, logam dasar, serta kimia dasar. Penetapan tersebut menunjukkan bahwa aktivitas industri kimia merupakan fungsi utama wilayah, sehingga pembangunan pabrik fenilamina memiliki kesesuaian fungsi ruang dan tidak bertentangan dengan kebijakan tata ruang daerah. Dalam proses perizinan, pendirian pabrik wajib mengikuti ketentuan nasional terkait perizinan berusaha dan lingkungan. Sistem Online Single Submission (OSS) berbasis risiko digunakan sebagai mekanisme utama penerbitan Nomor Induk Berusaha (NIB) dan perizinan usaha, serta terintegrasi dengan kewajiban penyusunan dokumen lingkungan seperti AMDAL sesuai peraturan yang berlaku. Sistem ini menjadi instrumen nasional untuk mempermudah dan mempercepat proses perizinan investasi industri di Indonesia. Dengan dukungan regulasi tata ruang, kebijakan pembangunan industri daerah, serta sistem perizinan nasional yang terintegrasi, pendirian pabrik fenilamina di Kota Cilegon memiliki landasan hukum yang kuat dan berpotensi memperoleh dukungan infrastruktur, kemudahan perizinan, serta akses logistik yang strategis.

1.4 Tinjauan Proses

1.4.1 Kegunaan Produk

Produk fenilamine telah banyak digunakan dalam industri, antara lain :

1. Bahan baku pembuatan methyl diphenylene isocyanate (MDI)
2. Bahan baku pada industri rubber
3. Bahan pembuatan pewarna (pigmen)
4. Bahan pembuatan peptisida

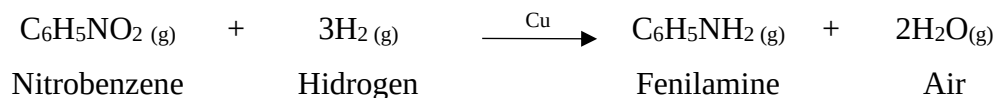
(Ullmans, 2005)

1.4.2 Pemilihan Proses

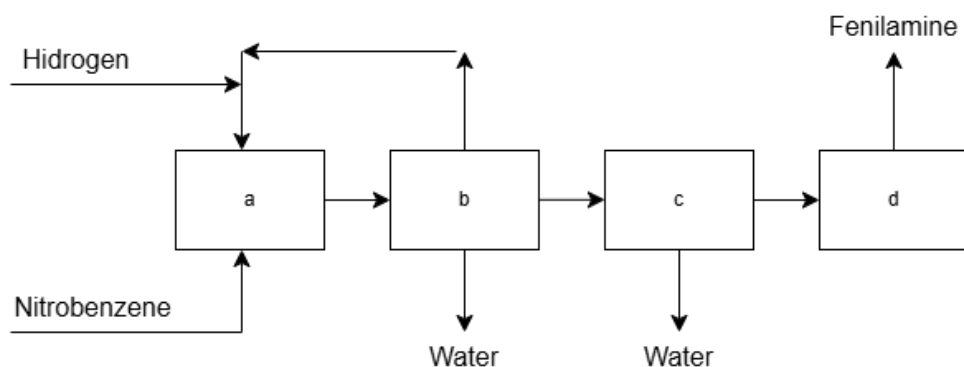
1. Proses Hidrogenasi Nitrobenzene Fase Uap

Nitrobenzene dihidrogenasi menjadi fenilamine, biasanya menghasilkan yield 94 hingga 99%, dengan proses fasa uap menggunakan fixed bed atau fluidized bed. Katalis yang paling efektif untuk hidrogenasi fase uap nitrobenzene adalah tembaga atau paladium pada karbon aktif atau oxidic support dengan kombinasi dengan logam lain (Pb, V.P, Cr) sebagai pengubah atau promotor untuk mencapai aktivitas dan selektivitas yang tinggi (Pietrowski, 2012).

Reaksi :



Dalam proses Lonza, yang dioperasikan oleh First Chemical Corp., umpan hidrogen dan nitrobenzena yang dihomogenkan dilewatkan di atas fixed bed dengan katalis tembaga dengan suhu masuk sekitar 200°C (misal: 215°C). Homogenisasi dilakukan dengan menyemprotkan nitrobenzene dengan bantuan umpan fresh hidrogen ke dalam aliran gas bersirkulasi pada posisi tetap. Perbandingan molar umpan nitrobenzene terhadap hidrogen total sekitar 1 : 3 dengan tekanan 100-700 kPa pada aliran masuk reaktor. Produk reaksi meninggalkan reaktor dengan suhu tidak lebih dari 300°C. Panas hidrogenasi digunakan untuk memproduksi uap dan untuk memanaskan aliran gas recycle. Aliran keluar reaktor selanjutnya didinginkan dalam kondensor. Kelebihan hidrogen, crude fenilamine, dan air dipisahkan. Selanjutnya fenilamine dimurnikan dengan distilasi (Ullman, 2005). Untuk proses pembuatan fenilamine dengan proses hidrogenasi nitrobenzene secara umum dapat ditampilkan dalam blok diagram Gambar 1.2 di bawah



Gambar 1 3. Blok Diagram Proses Hidrogenisasi Nitrobenzene Fase Uap

(a. Hydrogenitation, b. Separation, c. Dewatering, d. Rectifraction)

(Ullman, 2005)

2. Proses Hidrogenasi Nitrobenzene Fase Cair

Proses fenilamine pada industri ICI dan Dupont melibatkan hidrogenasi dalam fase cair. Proses hidrogenasi fase cair dioperasikan pada suhu 90-200°C dan tekanan 100-600 kPa. Reaksi fase cair dapat dilakukan dalam bubur atau reaktor unggun terfluidisasi. Konversi nitrobenzene biasanya selesai setelah reaktor tunggal lolos dengan hasil 94% hingga 98% (Ullman, 2005).



Pada dekade 1960-an, perusahaan ICI (Imperial Chemical Industries) mengembangkan suatu proses hidrogenasi fase cair secara kontinu dengan menggunakan fenilamina sebagai pelarut, yang membentuk lebih dari 95% berat fase cair. Proses ini dijalankan pada kondisi tekanan rendah, umumnya kurang dari 100 kPa, dan pada suhu yang mendekati titik didih pelarut. Sebagian atau seluruh panas yang dihasilkan selama reaksi dikendalikan dengan cara menguapkan campuran reaksi. Air kemudian dipisahkan melalui uap buangan, sementara sejumlah fenilamina dikondensasikan dan dikembalikan ke dalam bejana reaksi untuk mempertahankan kondisi operasi yang stabil (steady state). Salah satu katalis yang digunakan dalam proses hidrogenasi tersebut adalah nikel. (Wang et al., 2010).

Selain itu, DuPont menghidrogenasi nitrobenzene dalam fase cair menggunakan katalis platina-paladium pada penyangga karbon dengan besi sebagai modifier. Modifier memberikan massa pakai katalis yang baik, aktivitas tinggi, dan perlindungan terhadap hidrogenasi cincin aromatik. Proses kontinyu menggunakan reaktor plug flow yang pada dasarnya mencapai hasil kuantitatif, dan produk yang keluar dari reaktor hampir bebas dari nitrobenzene (Ullman, 2005).

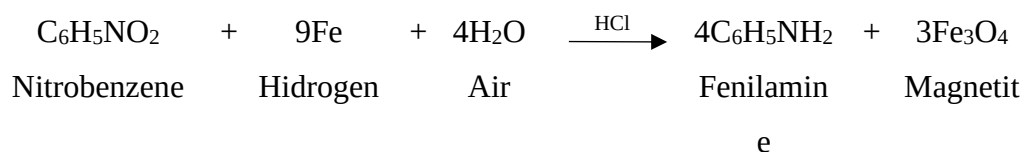
Perbandingan hidrogenasi fase cair katalitik dan fase uap nitrobenzene menunjukkan hampir tidak ada perbedaan dalam hasil dan kualitas produk untuk kedua proses. Namun, proses fase-uap memiliki keuntungan berupa pemanfaatan panas reaksi yang sangat efektif (untuk memproduksi uap), tidak perlu pemisahan produk-katalis dan umur katalis yang lebih lama (Klemm et al., 2001).

3. Proses Reduksi Nitrobenzene dengan Besi

Proses reduksi larutan nitrobenzena merupakan salah satu metode untuk menghasilkan fenilamina melalui reaksi antara nitrobenzena dalam fase cair dengan

air menggunakan larutan asam klorida. Reaksi tersebut berlangsung pada temperatur 100°C dan menghasilkan fenilamina dengan yield sebesar 98% berdasarkan jumlah nitrobenzena yang digunakan. (Popat dan Padhiyar, 2013).

Reaksi :



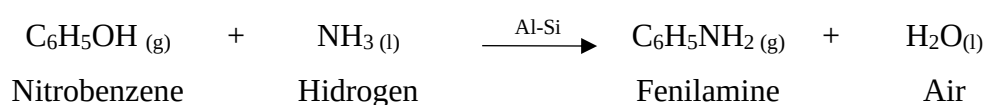
Dalam proses Béchamp, nitrobenzene direduksi dalam proses reaksi yang diaduk dengan larutan besi (II) klorida dan pengisi besi tanah. Reaktor diisi dengan jumlah total air yang dibutuhkan untuk reaksi (air fenilamine dari distilasi fenilamine), 20% dari besi (jumlah total katalis yang dibutuhkan) dan sekitar 5% sampai 10% dari total umpan nitrobenzene. Dengan agitasi yang intens, reaktor dipanaskan hingga refluks. Setelah reduksi dimulai, sisa nitrobenzena dan besi ditambahkan perlahan untuk menghindari suhu yang berlebihan dan penumpukan tekanan. Untuk menyelesaikan proses reduksi, vessel dipanaskan hingga 100°C selama dua jam setelah akhir penambahan besi/nitro benzena. Reaksi selesai dalam waktu sekitar 8 sampai 10 jam (Ullman, 2005).

Campuran reaksi dinetralkan dengan kapur, kemudian dipindahkan menuju separator, selanjutnya fase organik yang mengandung fenilamine dibawa kembali. Fenilamine dipulihkan dari fase organik dengan pengupasan dan distilasi air. Sisa fenilamine diambil dari bahan yang tersisa dalam separator sebelum bubuk oksida besi diproses menjadi partikel halus atau pigmen berwarna. Warna produk samping oksida besi dapat dikontrol dengan aditif pada media reaksi, dengan menggunakan berbagai jenis besi, dan dengan kondisi kalsinasi sub-sequent (Ullman, 2005).

4. Proses Aminasi Fenol

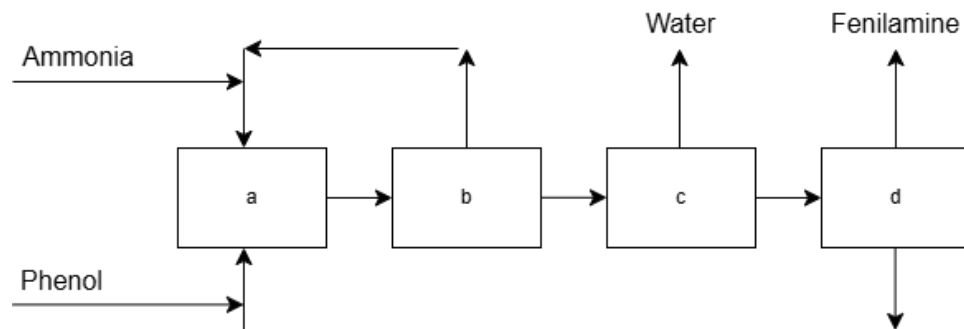
Proses aminasi fenol dikembangkan oleh Halcon dengan mereaksikan fenol dan amonia dalam fase uap menggunakan katalis silika-alumina. (Ullman, 2005).

Reaksi :



Reaksi aminasi fenol bersifat eksotermik dengan nilai ΔH sebesar -84 kJ/mol serta berlangsung secara reversibel. Oleh karena itu, konversi yang tinggi dapat

dicapai dengan menggunakan amonia dalam jumlah berlebih, yaitu dengan perbandingan mol fenol terhadap amonia sebesar 1:20, serta pada temperatur reaksi yang relatif rendah untuk meminimalkan disosiasi amonia. Proses ini dapat menghasilkan produk samping berupa difenilamina, trifenilamina, dan karbazol. Pembentukan produk samping tersebut dapat ditekan dengan penggunaan amonia berlebih. Berdasarkan fenol dan amonia, masing-masing diperoleh yield lebih dari 96% dan 80%. (Ullman, 2005).



Gambar 1 4.Blok Diagram Proses Aminasi Fenol

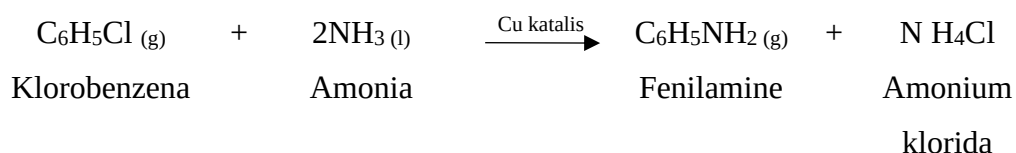
(a. Amination, b. Ammonia recovery, c. Dewatering, d. Rectification)

(Ullman, 2005)

Pada gambar 1.4, fenol dan amonia (fresh dan recycle) diuapkan secara terpisah (untuk mencegah kehilangan yield) dan dicampurkan dalam reaktor aminasi fixed bed (a) yang mengandung katalis silika-alumina. Setelah reaksi pada suhu 370oC dan tekanan 1,7 MPa, selanjutnya gas didinginkan, sebagian terkondensasi dan kelebihan amonia diperoleh kembali dalam kolom pemisah (b), Proses kompresi dan didaur ulang. Produk kondensasi dilewatkan melalui kolom pengering (drying column) untuk menghilangkan air dan kemudian melalui finishing column untuk memisahkan fenilamine dari sisa fenol dan impuritas pada kondisi vakum (kurang dari 80 kPa). Fenol yang mengandung beberapa fenilamine (campuran azeotropik) dilakukan recycle (Ullman, 2005).

5. Proses Aminasi Klorobenzena

Proses aminaasi klorobenzena dikembangkan terutama oleh Dow Chemical Company pada tahun 1930-an. Proses ini melibatkan reaksi antara klorobenzena dan amonia berlebih dalam kondisi tekanan dan suhu tinggi, dengan keberadaan katalis tembaga untuk menghasilkan fenilamine dan garam amonium klorida sebagai produk samping.



Di mana fenilamine dihasilkan bersama dengan amonium klorida sebagai produk samping. Konversi klorobenzena mencapai 90–92%, dengan selektivitas fenilamine sekitar 85–90%. Namun, proses ini menghasilkan sejumlah produk samping organik seperti fenol dan difenilamina akibat reaksi sekunder, serta memerlukan penggunaan amonia berlebih dengan rasio molar NH_3 terhadap klorobenzena sekitar 6:1 untuk mendorong konversi dan menekan pembentukan produk samping. Alur proses dimulai dengan pencampuran klorobenzena dan amonia cair di dalam autoklaf bertekanan tinggi yang dilengkapi dengan sistem pengadukan. Setelah reaksi selesai, campuran didinginkan dan dipisahkan menjadi fase organik yang mengandung fenilamine kasar serta fase aqueous yang berisi amonium klorida dan amonia sisa. Amonia kemudian dipulihkan dari fase aqueous melalui penambahan alkali seperti natrium hidroksida, dan didaur ulang ke dalam reaktor. Fenilamine kasar selanjutnya dimurnikan melalui serangkaian proses distilasi, termasuk distilasi awal untuk menghilangkan sisa klorobenzena dan air, serta distilasi vakum untuk memperoleh fenilamine murni dengan kemurnian di atas 99%. Kelebihan proses ini antara lain kemampuannya untuk memanfaatkan klorobenzena yang merupakan produk samping dari industri klorinasi benzena, serta potensi integrasi dengan pabrik klor-alkali. Namun, proses ini memiliki beberapa kelemahan signifikan seperti rendemen yang lebih rendah dibandingkan dengan proses hidrogenasi nitrobenzena, kebutuhan akan tekanan operasi tinggi, pembentukan produk samping korosif (amonium klorida), serta biaya bahan baku klorobenzena yang relatif mahal. Akibat dari faktor-faktor tersebut, Dow Chemical akhirnya menghentikan operasi proses ini pada tahun 1966, dan proses aminaasi klorobenzena kini lebih banyak berperan sebagai pembanding historis dalam evaluasi teknologi produksi fenilamine yang lebih efisien dan ramah lingkungan

1.4.3 Seleksi Proses

Berdasarkan uraian mengenai berbagai metode produksi fenilamina, perbandingan pertimbangan dalam penentuan proses dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1.13 Perbandingan Pemilihan Proses Produksi Fenilamina

Aspek	Bechamp (Fe/HCl)	Aminasi Kloroben-zene	Aminasi Fenol	Hydrogenasi Nitrobenzena Fase Uap	Hydrogenasi Nitrobenzene Fase Cair
Bahan Baku	Nitrobenzena, Fe, HCl	Klorobenzena, NH ₃	Fenol, NH ₃	Nitrobenzena, H ₂	Nitrobenzena, H ₂ , fenilamine pelarut
Proses Utama	Reduksi padat- cair batch	Aminasi bertekanan tinggi	Aminasi katalitik fase uap	Hydrogenasi katalitik fase uap	Hydrogenasi katalitik fase cair
Alat proses	Korosif, batch, banyak unit	Autoklaf, system tekanan	Fixed bed, kompleks	Fixed bed multitube	Reaktor slurry/plug flow, sistem pemisahan katalis
Suhu	50–100°C	200-210 °C	400-480 °C	250-300 °C	90-2000°C
Tekanan	1 atm	30-70 bar	10-35 bar	1-5 bar	1-6 bar
Katalis	Fe	CuCl/Cu ₂ O	Silika-alumina	Cu-Ni/SiO ₂	Ni (ICI) atau Pt-Pd/C + Fe modifier (DuPont)
Reaktor	CSTR batch berlapis asam	Autoklaf batch	Fixed bed multi-tube	Multitubular Fixed Bed Reaktor dengan Pendingin shell-side	Reaktor slurry atau plug flow kontinu
Konversi Fenilamine	95-98%	90-92%	90-95%	>99%	94-98%

Aspek	Bechamp (Fe/Hcl)	Aminasi Kloroben-zene	Aminasi Fenol	Hidrogenasi Nitrobenzena Fase Uap	Hidrogenasi Nitrobenzene Fase Cair
Energi & efisiensi	Konsumsi energi sedang	Tinggi (tekanan tinggi)	Tinggi (suhu tinggi)	Tinggi (heat recovery terintegrasi)	Moderat, panas dibuang lewat penguapan
Lingku -ngan & aman	Limbah Fe sludge & asam	Limbah NH ₄ Cl & organik	Limbah organic komplek s	Air	H ₂ O, sedikit senyawa tereduksi parsial
Skalabili -tas	Terbatas (batch)	Terbatas	Skala besar	Skala besar	Baik, tapi pemisahan katalis jadi tantangan

Gambar 1 5 Fixed Bed Reaktor catalyst

Berdasarkan pertimbangan, dipilih proses hidrogenasi nitrobenzena fase uap dengan katalis Cu-Ni/SiO₂ dalam reaktor fixbed multitubular karena kemampuannya meningkatkan efisiensi proses, menyederhanakan alur produksi, serta menghasilkan konversi fenilamine

yang sangat tinggi hingga lebih dari 99% (Xiangming Fang a'c, Sulan Yao b, Zhong Qing c, 1997).

Reaktor fixed bed memungkinkan pengendalian operasi yang lebih sederhana karena katalis tetap diam pada posisinya di dalam unggun, sehingga tidak memerlukan sistem fluidisasi maupun unit pemisah katalis tambahan seperti cyclone yang justru menambah kompleksitas dan biaya konstruksi pada reaktor fluidized bed (Sinnott, 2005). Katalis nikel berpenyangga pumice yang dilapisi tembaga pada proses Lonza mampu menghasilkan konversi anilin hingga 99%, suatu nilai yang sangat kompetitif bahkan dibandingkan dengan sistem fluidized bed. Dengan menjaga rasio molar hidrogen terhadap nitrobenzena pada kisaran 1,2–1,6:1, suhu pada lapisan katalis dapat dipertahankan relatif merata sehingga hot spot lokal dapat dikendalikan tanpa memerlukan sirkulasi gas berlebih maupun mekanisme fluidisasi yang rumit. Panas reaksi yang dihasilkan, mengingat reaksi hidrogenasi nitrobenzena sangat eksotermis, dapat dimanfaatkan secara efisien melalui heat exchanger untuk pemanasan umpan, sehingga konsumsi energi dapat ditekan tanpa memerlukan investasi sistem heat recovery yang lebih kompleks.

Produk samping berupa difenilamin, sikloheksilamin, dan N-sikloheksilanilin dan sebagian besar nitrobenzena yang belum bereaksi dapat direcycle kembali ke reaktor bersama hidrogen sehingga konversi keseluruhan dapat dijaga tetap tinggi dan kehilangan bahan baku dapat diminimalkan. Reaksi hidrogenasi nitrobenzena pada dasarnya hanya menghasilkan anilin dan air sebagai produk utama dan produk samping, sehingga limbah yang terbentuk relatif sederhana, mudah ditangani, dan tidak menimbulkan beban pencemaran yang signifikan dibandingkan limbah berbahaya pada proses konvensional lainnya. Dari sisi katalis, meskipun memerlukan regenerasi secara periodik, katalis fixed bed dapat diregenerasi hingga 10 kali dengan masa pakai total 6 bulan hingga 1 tahun, sehingga frekuensi penggantian katalis tetap dalam batas yang ekonomis. Selain itu, karena partikel katalis tidak bergerak dan tidak mengalami gesekan turbulen seperti pada fluidized bed, risiko keausan mekanis (attrition) dan hilangnya katalis bersama aliran gas dapat diminimalkan (Hiroshi, 1850). Proses Lonza dengan sistem fixed bed ini sering diterapkan dalam industri produksi anilin, reaktor fixed bed memberikan konversi tinggi, kesederhanaan desain, biaya investasi dan operasional yang lebih rendah, sehingga air sebagai satu-satunya produk samping yang ramah lingkungan. Teknologi ini layak untuk mendukung operasional berkelanjutan dalam produksi fenilamina