

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Di dalam era industrialisasi saat ini, pertumbuhan industri di Indonesia khususnya bidang industri kimia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Seiring dengan peningkatan yang baik tersebut, maka kebutuhan akan bahan baku industri, bahan-bahan kimia maupun tenaga kerja juga akan semakin meningkat, terutama untuk industri kimia yang bersifat padat modal dan teknologi yang canggih. Salah satu bahan industri kimia yang sangat di perlukan dalam industri kimia adalah Anilin.

Anilin merupakan senyawa organik dengan komposisi C_6H_7N yang termasuk ke dalam senyawa aromatik, dengan bantuan doping asam anilin dapat menjadi bahan konduktor dengan nilai konduktivitas tertentu. Anilin juga merupakan salah satu senyawa intermedite yang digunakan dalam produksi methyl di-penylene isocyanate (MDI), sebagai bahan baku urethane (Mannsvilee, 1992).

Anilin merupakan bahan kimia yang dapat dibuat dari beberapa macam cara dan bahan, serta digunakan untuk membuat berbagai macam produk kimia. Di dalam era industrial saat ini anilin mempunyai peran penting dan banyak digunakan sebagai bahan penghasil Isocyanates, bahan kimia pembuat karet, bahan pembuat pestisida (Nasir, 2012).

Kebutuhan anilin terbesar adalah Asia Pasifik sekitar 1.850.000 ton/tahun, diikuti oleh Eropa Barat sekitar 1.650.000 ton/tahun dan Amerika Serikat sekitar 1.150.000 ton/tahun. Kebutuhan aniline di Jepang sebesar 427.000 ton/tahun, Eropa Timur sebesar 188.600 ton/tahun, Asia Tengah sebesar 145.600 ton/tahun dan Amerika Latin sebesar 60.000 ton/tahun. Permintaan global pada tahun 2013 adalah 5.480.000 ton/tahun dan pertumbuhan global sebesar 5,1 % sampai tahun 2018 (TranTech Consultants, Inc., 2014).

Melihat kebutuhan anilin yang tinggi pada masa sekarang ini, seiring dengan industri pemakaiannya yang semakin meningkat, maka pendirian pabrik anilin dirasa sangat perlu. Hal ini bertujuan untuk mengurangi impor anilin dan membuka tenaga kerja baru. Jumlah pengangguran yang semakin bertambah sejak krisis ekonomi menjadi beban bagi pemerintah untuk menyediakan lapangan kerja. Pendirian pabrik anilin ini diharapkan dapat mengurangi jumlah pengangguran. Selain itu, pendirian pabrik anilin ini dapat menjadi perintis pendirian pabrik-pabrik yang memproduksi anilin secara khusus maupun pabrik yang menggunakan anilin sebagai bahan bakunya.

1.2. Tinjauan Pustaka

Nitrobenzene merupakan turunan dari benzene yang berbentuk zat cair dan menyerupai minyak berwarna kuning, bersifat toksik, berbau khas, molekul lingkaran benzene, yang satu atom hydrogen telah digantikan dengan gugus nitro. Digunakan pada pembuatan beberapa jenis sabun dan minyak wangi, serta juga pada pembuatan anilin. Nitrobenzene golongan nitro, NO_2 , terikat pada rantai benzene Formula sederhananya $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ (Fessenden and Fessenden, 1991).

1.2.1. Hidrogen

Hydrogen adalah unsur yang paling ringan dari unsur-unsur lainnya dan merupakan unsur yang paling melimpah di alam. Hydrogen digunakan untuk membuat ammonia, logam penyulingan, dan methanol untuk membuat bahan dasar seperti plastic.

Hydrogen juga merupakan unsur paling melimpah dengan presentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam (David, 1997). Kebanyakan bintang dibentuk oleh hydrogen dalam keadaan plasma. Senyawa hydrogen relative langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis, namun proses ini secara komersial lebih mahal dari pada produksi hydrogen gas alam (Staff, 2007).

1.2.2. Aniline

Aniline merupakan senyawa organik dengan komposisi $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$ yang termasuk ke dalam senyawa aromatic dengan bantuan doping asam anilin dapat menjadi bahan konduktor dengan nilai konduktivitas tertentu (Fachri, Edy, Herisena., 2005).

Anilin merupakan bahan kimia yang dapat dibuat dari beberapa macam cara dan bahan serta dapat digunakan untuk membuat berbagai macam produk kimia. Di dalam era industrialisasi saat ini anilin mempunyai peranan penting dan banyak digunakan sebagai zat pewarna dan karet sintetis.

1.3.Maksud dan Tujuan

1.3.1. Maksud

Maksud dari perancangan pabrik *Anilin* ini adalah untuk memenuhi jumlah kebutuhan *Anilin* di Indonesia maupun di dunia, karena *anilin* ini banyak digunakan sebagai makan baku maupun bahan intermediet pada pabrik kimia, maka dalam perancangan pabrik ini akan di rancang pabrik kimia yang memproduksi *anilin* dari Nitrobenzen dan Hidrogen.

1.3.2. Tujuan

Tujuan dari perancangan pabrik *anilin* ini adalah, sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan jumlah produksi anilin yang ada di dalam negeri.
2. Untuk memenuhi kebutuhan industry yang menggunakan *anilin* sebagai bahan baku.
3. Meningkatkan jumlah ekspor *anilin*.

1.4.Penentuan Kapasitas Produksi

1.4.1. Kebutuhan Produk

Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi *anilin* adalah *nitrobenzen* dan hidrogen. Kebutuhan *nitrobenzene* diperoleh dari Rubicon, Geismar dengan kapasitas 1.140 ton/tahun sedangkan *hidrogen* akan diambil dari PT Air Liquid.

Permintaan akan *anilin* diperkirakan akan semakin meningkat, mengingat semakin berkembangnya industri yang membutuhkan bahan baku seperti pembuatan obat-obatan, zat pewarna, dan lain-lain baik di dalam maupun luar negeri.

Untuk memenuhi kebutuhan anilin di dalam negeri, Indonesia masih mengimpor dari negara lain. Data impor anilin dalam negeri ditunjukkan pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Kebutuhan Anilin Di Berbagai Negara

Tahun	India	Rep. Of Korea
2013	30877,693	35209,688
2014	37275,755	18054,558
2015	38268,331	24459,086
2016	45800,271	16224,206
2017	55473,444	17403,906

(UN Data, 2018)

1.4.2. Perhitungan Kapasitas Produksi

1.4.2.1. Crystal Ball

Crystal Ball adalah program untuk simulasi data yang menyediakan dua pilihan metoda sampling yaitu Monte Carlo dan Latin Hypercube. Seperti halnya user friendly program pada umumnya, Crystal Ball pada dasarnya mudah dioperasikan dan dipahami karena menyertai di samping fasilitas help pada setiap operasi atau menu. Dengan demikian, pengguna bisa melakukan learning by doing dengan mengandalkan fasilitas online tutorial dan help. Namun demikian, karena program ini adalah program simulasi maka dibutuhkan pemahaman dasar mengenai statistika dan metode-metode yang berkaitan dengan topik utama atau pendukung-pendukungnya. Central Limit Theorem sebagai misal adalah dasar yang harus dipahami lebih dahulu. Kemudian, beberapa pilihan tes yang digunakan oleh Crystal Ball seperti Kologorov-Smirnov, Anderson-Darling, dan Chi Square juga perlu diketahui. Juga berbagai karakteristik

distribusi yang menjadi knowledge base program ini hendak diketahui agar memudahkan untuk untuk beradaptasi pada saat penggunaan atau membaca hasil analisis. Pemahaman awal mengenai Crystal Ball diawali dengan pemahaman terhadap tiga macam karakteristik sel, yaitu:

1. Assumption cells atau sel-sel asumsi.
2. Decision cells atau sel-sel keputusan.
3. Forecast cells atau sel-sel peramalan

Assumption cells berisi nilai yang kita tidak yakin atau variabel yang kita tidak tahu pasti di dalam masalah yang sedang akan diselesaikan. Sel ini harus berupa nilai numerik dan bukan formula atau teks dan didefinisikan sebagai sebuah distribusi probabilitas.

Decision cells berisi nilai numerik atau angka dan bukan formula atau teks serta menjelaskan variabel yang memiliki interval nilai tertentu di mana dapat mengontrolnya untuk memperoleh putusan optimal.

Forecast cell adalah output analisis yang berdasar simulasi kepada asumsi-asumsi. Forecast cell harus berupa formulasi yang berhubungan dengan sel sel asumsi (*Assumption cells*).

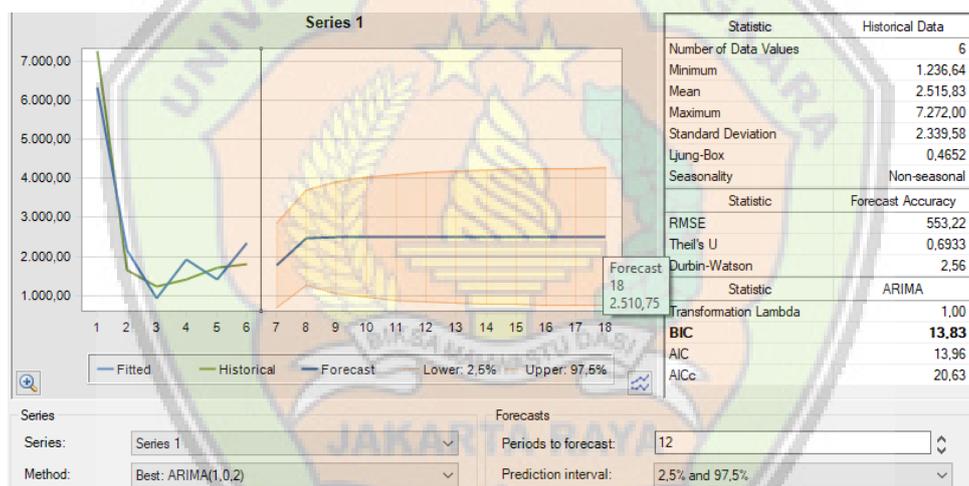
Kapasitas produksi merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan dalam merancang suatu pabrik dimana kapasitas produksi dapat mempengaruhi perhitungan teknis maupun ekonomis.

Tabel 1.2. Daftar Impor dan Ekspor Anilin di Indonesia

Tahun	Impor	Impor %	Ekspor	Ekspor %
2013	1655,51	-	8,176	-
2014	1236,637	-0,338719	-	-
2015	1408,563	0,1220577	20,3	1,482877
2016	1709,15	0,1758693	-	-
2017	1813,127	0,0573468	3,55	-0,82512

(UN Data, 2018)

Perhitungan kapasitas produksi Anilin di Indonesia menggunakan Crystal Ball :



Gambar 1.1. Grafik Kapasitas

Menghitung kapasitas menurut aplikasi Crystal Ball diatas di perkiraan kebutuhan anilin pada 12 periode sebesar 2.510 ton/tahun.

1.5. Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting dalam kelangsungan operasi suatu pabrik, perkembangan, dan keuntungan pabrik yang akan di dirikan secara teknis maupun ekonomis dimasa yang akan datang. Oleh karena itu pabrik Anilin akan didirikan di kota Cilegon, Banten. Ada beberapa factor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik, antara lain :

1.5.1. Sumber Bahan Baku

Bahan baku merupakan factor yang penting dalam penentuan lokasi pabrik. Pabrik sebaiknya didirikan di lokasi dekat dengan sumber bahan baku. Hal ini dapat menghemat biaya transportasi, penyimpanan bahan baku dan juga dapat menjaga ketersediaan bahan baku yang berkesinambung. Oleh karena itu, pabrik anilin didirikan di kota Cilegon, Banten karena dekat dengan sumber bahan baku hydrogen yang diperoleh dari PT. Air Liquid yang berlokasi di kota Cilegon, Banten. Bahan baku nitrobenzene diperoleh import dari Rubicon, Geismar, LA yang diimport melalui jalur laut dan kota Cilegon, Banten berdekatan dengan pelabuhan.

1.5.2. Transportasi

Lokasi pabrik harus dekat dengan fasilitas transportasi sehingga tidak mengalami kesulitan dalam pengangkutan bahan baku maupun produk yang dihasilkan. Sarana transportasi yang diperlukan antara lain jalan raya dan pelabuhan.

1.5.3. Pasar

Pabrik yang akan didirikan sebaiknya dekat dengan sarana pemasaran sehingga menghemat biaya transportasi dan memudahkan dalam pengiriman produk ke konsumen.

1.5.4. Tenaga Kerja

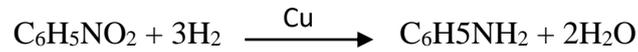
Tenaga kerja yang dibutuhkan meliputi tenaga kerja kasar (non skill) dan tenaga ahli, factor-faktor yang perlu diperhatikan dalam segi tenaga kerja antara lain mudah tidaknya mendapatkan tenaga kerja yang dibutuhkan, banyaknya tenaga kerja yang dibutuhkan dan tingkat penghasilan tenaga kerja itu sendiri.

1.6. Uraian Proses

Anilin dapat diproses dengan beberapa cara :

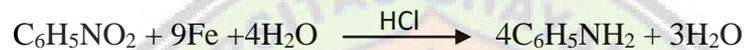
a. Proses Hidrogenasi Nitrobenzene Fase Uap

Proses hidrogenasi nitrobenzene fase uap adalah proses pembuatan anilin dari nitrobenzene uap yang direaksikan dengan gas hydrogen untuk mempercepat reaksi dibantu dengan katalisator Cu dalam *silica (silica supported copper)*.



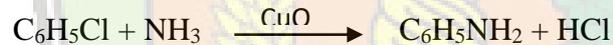
b. Proses Reduksi Dengan Larutan Nitrobenzen

Proses reduksi dengan larutan nitrobenzene adalah proses pembuatan anilin dengan mereaksikan nitrobenzene cair dengan gas hydrogen dalam larutan asam klorida. Reaksi berlangsung pada suhu 200⁰C dan tekanan 12,3 atm.



c. Proses Aminasi Klorobenzen

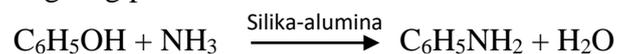
Proses aminasi klorobenzen adalah proses pembuatan anilin dengan mereaksikan klorobenzen dengan ammonia cair.



Klorobenzen cair dialirkan ke *rolled steel autoclave* yang di susun secara horizontal. Katalis yang digunakan adalah *cuprous oxide*. Sekitar 0,1 mol *cuprous oxide* dan 4-5 mol daro 28-30% ammonia ditambahkan per mol klorobenzen.

d. Proses Amonia Dengan Phenol

Pada reaksi ammonia dengan phenol merupakan proses pembuatan anilin dengan mereaksikan ammonia dengan phenol cair, sebelum direaksikan ke dalam reactor, ammonia dan phenol cair dipanaskan terlebih dahulu dengan *preheater*. Reaksi berlangsung pada suhu 460⁰C dan tekanan 16 atm.



Kunci dari proses ini adalah katalis *silica-alumina* hasil pengembang Halcon yang dapat mempertinggi yield phenol dan ammonia secara kuantitatif sehingga purifikasi berjalan sederhana namun produk dengan kemurnian tinggi jarang di dapat.

Dari proses yang telah dijelaskan di atas dapat disimpulkan dengan menggunakan tabel perbandingan dari keempat proses tersebut

Table 1.3. Perbandingan Proses Pembuatan Anilin

Parameter	Hidrogenasi Nitrobenzen Uap	Reaksi Larutan Nitrobenzen	Aminasi Klorobenzen	Reaksi Amonia Dengan Phenol
Proses				
Bahan baku	-Nitrobenzen -Hidrogen	-Nitrobenzene -Hidrogen	-Klorobenzen -Amonia	-Phenol -Amonia
Bahan pembantu	-Cooling water -Steam -Katalis	-Cooling water -Steam -Katalis	-Cooling water -Steam -Katalis	-Cooling water -Steam -Katalis
Impurtasi	Sedikit	Banyak	Banyak	Banyak
By produk	Tidak ada	Larutan HCL	Tidak ada	Diphenilamine
Yield	99%	95%	85-90%	85%
Kondisi				
Suhu	270 ⁰ C	200 ⁰ C	220 ⁰ C	450 ⁰ C
Tekanan	2,3 atm	12,3 atm	57,8 atm	16 atm

Berdasarkan uraian yang di atas dapat dilihat proses pembuatan anilin yang paling menguntungkan adalah proses hidrogenasi nitrobenzene fase uap. Sehingga dalam prancangan ini dapat dipilih proses pembuatan anilin dengan metode hidrogenasi nitrobenzene fase uap karena menghasilkan yield yang tinggi dengan impurtasi yang sedikit dan tidak ada hasil sampingnya.

1.6.1. Proses Perispan Bahan Baku

Nitrobenzen cair dengan kemurnian 99.8% yang berada di dalam tangki (T-01) pada suhu 30⁰C dengan tekanan 1 atm dialirkan menggunakan pompa (P-01) menuju heat exchanger (HE-01). Pada heat exchanger (HE-01) nitrobenzene yang berfungsi sebagai fluida pendingin bagi gas produk keluaran reactor. Suhu nitrobenzen yang keluar dari heat exchanger (HE-01) dengan suhu 212,14⁰C. Selanjutnya nitrobenzen dan hasil bawa menara distilasi (MD)

dialirkan menggunakan pompa (P-02) menuju vaporizer. Didalam vaporizer, nitrobenzene berubah fasa menjadi uap.

Gas hidrogen dari tangki (T-02) pada kondisi operasi 14 atm dengan suhu 30⁰C diekspansi menjadi 2.35 atm menggunakan Gasn Expander (GE). Kemudian hydrogen dialirkan menuju heat exchanger (HE-02) untuk dipanaskan bersama dengan arus nitrobenzene. Arus gas keluaran dari heat exchanger (HE-02) dialirkan menuju reactor sebagai umpan masuk.

1.6.2. Proses Reaksi

Nitrobenzen dan gas hidrogen masuk ke reaktor Fixed Bed dalam fase gas dengan 20% gas hidrogen berlebih. Reaktor beropersi pada suhu 270⁰C dengan tekanan 2.35 atm dan menggunakan katalis Cu dalam silica (*Silica-Supported Copper Catalyst*). Yield yang diperoleh adalah 99% terhadap itrobenzen.

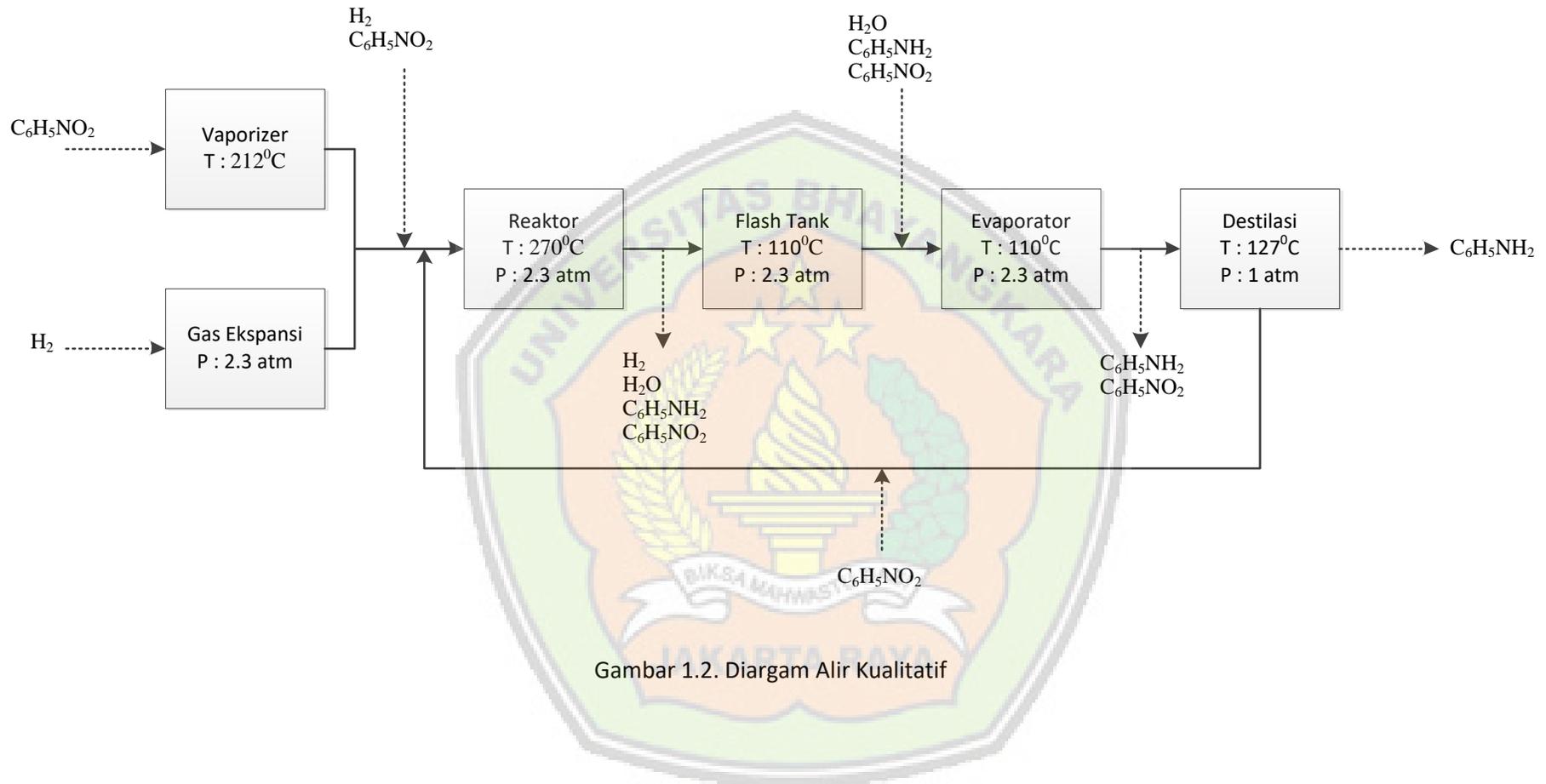
Reaksi yag terjadi adalah reaksi eksotermis, sehingga untuk mempertahankan kondisi isothermal panas yang dihasilkan dari reaksi akan diserap oleh media pendingin berupa jaket pendingin.

1.6.3. Proses Finishing

Gas produk keluar dari reaktor pada kondisi suhu 270⁰C dengan tekanan 2.3 atm. Selanjutnya gas dialirkan menuju cooler, didalam cooler gas produk di dinginkan sampai suhu 100⁰C. Dari cooler, gas produk di pompa (P-04) dialirkan menuju flash tank (SP). Flash tank berfungsi untuk menghilangkan gas hydrogen berlebih dengan cara diuapkan pada kondisi operasi. Selanjutnya produk dialirkan menuju evaporator. Evaporator berfungsi untuk memisahkan air di dalam produk dengan cara diuapkan.

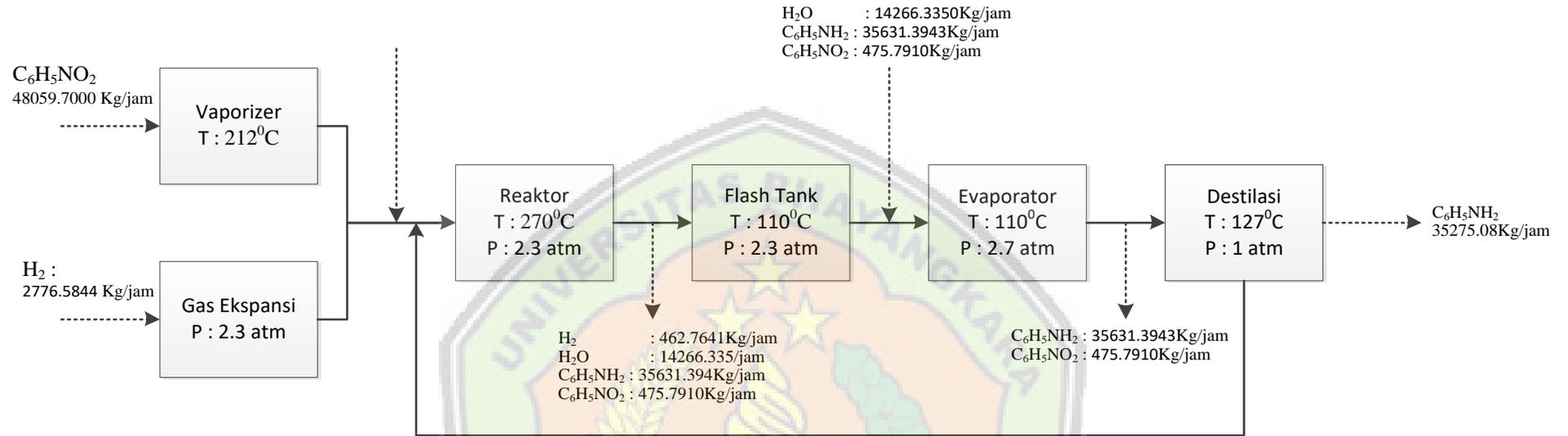
Hasil evaporator masuk ke dalam distilasi dimana pada kondisi operasi dengan suhu 352⁰C dan tenakan 190 mmHg. Distilasi berfungsi untuk memisahkan produk anilin dengan nitrobenzene, hasil atas yang berupa nitrobenzene dialirkan menggunakan pompa kembali ke tangki sebagai arus recycle. Produk bawah yang berupa anilin dialirkan menuju kondensor untuk di dinginkan. Anilin yang komposisinya sudah memenuhi spesifikasi produk tersebut kemudian disimpan di dalam tangki (T-03) dan siap untuk dipasarkan.

1.6.4. Diagram Alir Kualitatif



Gambar 1.2. Diagram Alir Kualitatif

1.6.5. Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 1.3. Diagram Alir Kuantitatif

1.7. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

1.7.1. Bahan Baku

1.7.1.1. Nitrobenzene

- Sifat Fisika

Rumus Molekul	:	$C_6H_5NO_2$
Berat Molekul	:	123,06 gram/mol
Temperatur kritis	:	719 K
Tekanan kritis	:	44 bar
Wujud	:	Cair
Densitas	:	1,199 g/cm
Titik Didih	:	483,9 K
Titik Lebur	:	278,7 K
IG <i>heat of formation</i>	:	67,5 kJ/mol
IG <i>Gibbs of formation</i>	:	158 kJ/mol
<i>Specific gravity</i>	:	1,2007
Tekanan Uap	:	0,3 mmHg (25 C)
Kemurnian	:	99,8 %
Impuritas	:	0,1 % H ₂ O. 0,1 % C ₆ H ₆

(Yaws, 1997)

- Sifat Kimia

1. Nitrobenzene merupakan pelarut yang baik.
2. Nitrobenzene larut pada pelarut organik dengan tingkat kelarutannya 0,19 % pada suhu 20⁰C.
3. Reaksi pada nitrobenzene berupa reaksi substitusi pada cincin aromatik dan pada rantai nitro.
4. Reduksi nitrobenzene dengan pereduksi Sn dan H₂O menghasilkan n-phenyl—ydroxilamine dan dengan pereduksi Sn dan HCL menghasilkan anilin.
5. Kondensasi Nitrobenzene dengan n-phenylhidroxilamine dengan pereduksi Na₂AsO₃ menghasilkan azoxybenzene.
6. Reduksi azoxybenzen dengan pereduksi Zn dan NaOH menghasilkan azobenzen dan hidrazobenzen.

1.7.1.2. Hidrogen

- Sifat Fisika

Rumus Molekul	:	H ₂
Berat Molekul	:	2,016 gram/mol
Temperatur kritis	:	33,18 K
Tekanan kritis	:	13,13 bar
Wujud	:	Gas
Densitas	:	0,08988 g/L
Titik Didih	:	20,271 K
Titik Lebur	:	13,99 K
Panas penguapan	:	903,7633 kJ/mol
<i>Specific gravity</i> 60 F	:	0,07
Kemurnian	:	min 99,999 %
Impuritas	:	max 0,001 % CH

(Yaws, 1997)

- Sifat Kimia

Hidrogen banyak digunakan dalam proses hidrogenasi. Kelarutan dan karakteristik hidrogen dengan berbagai macam logam. Hidrogen sangatlah larut dalam berbagai senyawa yang terdiri dari logam tanah dan logam transisi dan dapat dilarutkan dalam logam kristal maupun logam amorf. Kelarutan hidrogen dalam logam disebabkan oleh distorsi.

(Othmer, 1997)

1.7.2. Spesifikasi Bahan Pendukung

1.7.2.1. Katalis

Jenis	:	Silica supported Copper (10-20 % Cu)
Wujud	:	Serbuk
Surface area	:	> 200 m ² /gram
Pore Volume	:	0,25
Average pore diameter	:	20 Å
Partical diameter	:	20-150 µm

(U.S patent 4,265,834)

1.7.3. Spesifikasi Bahan Produk

1.7.3.1. Anilin

- Sifat Fisika

Rumus Molekul	:	C_6H_7N
Berat Molekul	:	93,128 gram/mol
Temperatur kritis	:	699 K
Tekanan kritis	:	53,09 bar
Wujud	:	Cair
Densitas	:	1,0217 g/mL
Titik Didih	:	457,28 K
Titik Lebur	:	266,8 K
IG <i>heat of formation</i>	:	86,86 kJ/mol
IG <i>Gibbs of formation</i>	:	166,69 kJ/mol
Panas penguapan	:	41,84 kJ/mol
<i>Specific gravity</i> 60 F	:	1,023553
Kemurnian	:	99,5 %
Impuritas	:	0,05 % H_2O 2 ppm $C_6H_5NO_2$

(Yaws, 1997)

- Sifat Kimia

1. Anilin larut pada pelarut organik dan larut pada air dengan tingkat kelarutannya 3,5 % pada suhu 25⁰C.
2. Anilin adalah basa lemah.
3. Hidrogenasi katalitik anilin fase cair pada suhu 140⁰C dan tekanan 150 atm menghasilkan 80% cyclohexamine ($C_6H_{11}NH_2$). Sedangkan hidrogenasi anilin fase uap menggunakan katalis nikel menghasilkan diclorohexamine.

(Othmer, 1997)

1.8. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika bertujuan untuk mengetahui sifat reaksi selama proses berlangsung. Besar atau kecilnya panas reaksi (ΔH) untuk menentukan jumlah energy yang dibutuhkan maupun yang dihasilkan. ΔH bernilai (+) atau eksotermis menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses reaksi berlangsung, sehingga semakin besar ΔH maka semakin besar juga energy yang dibutuhkan. Sedangkan ΔH yang bernilai negative (-) atau endotermis menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas untuk keberlangsungan reaksi.

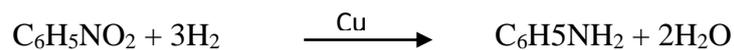
Untuk menentukan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat diketahui dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $p = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$. Nilai ΔH_f° masing-masing tiap komponen pada suhu 298 K dapat dilihat dari table:

Table Nilai ΔH_f°

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔH_f° (J/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (J/mol)
Air	-241,8	-241.800	-228,59	-228.590
Anilin	86,86	86.860	166,69	166.690
Hidrogen	0	0	0	0
Nitrobenzene	67,6	67.6000	158	158.000

(Yawn Handbook)

Pada proses pembuatan Anilin, terjadi reaksi sebagai berikut :



$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ 298\text{K} &= \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} - \Delta H_f^\circ \text{ produk} \\ &= (\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \Delta H_f^\circ 2 \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \Delta H_f^\circ 3 \text{ H}_2) \\ &= (86.860 + (-241.800)) - (67.600)\end{aligned}$$

$$= -464.340 \text{ J/mol}$$

a. Panas reaksi standar

$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ 298\text{K} &= \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} - \Delta H_f^\circ \text{ produk} \\ &= (\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \Delta H_f^\circ 2 \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \Delta H_f^\circ 3 \text{ H}_2) \\ &= \{86.860 + (2 \times (-241.800))\} - (67.600) \\ &= -464.340 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

b. Konstanta kesetimbangan (K) pada keadaan standar

$$\Delta G_f^\circ = -RT \ln K$$

Dimana :

ΔG_f° = Energi Gibbs pada keadaan standar (T = 298 K dan $\rho = 1 \text{ atm}$) (J/mol)

ΔH_r° = Panas reaksi (J/mol)

K = Konstanta keseimbangan

T = Suhu standar (298)

R = Tetapan gas ideal (8,314 J/mol K)

(S. K Dorga & S. Dorga, 1990)

Sehingga ΔG_f° dari reaksi diatas adalah :

$$\begin{aligned} \Delta G_f^\circ &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \Delta G_f^\circ 2 \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \Delta G_f^\circ 3 \text{ H}_2) \\ &= \{166.690 + (2 \times (-228.590))\} - (158.000) \\ &= -448.490 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta G_f^\circ = -RT \ln K$$

$$\begin{aligned} \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G_f^\circ}{8,314 \times K} \\ &= -\frac{-448.490 \text{ J/mol}}{8,314 \times 298} \\ &= -\frac{-448.490}{2477,572} \end{aligned}$$

$$\ln K_{298} = 181,02$$

$$K_{298} = 5.1986$$

c. Konstanta kesetimbangan (K) pada $T = 250^{\circ}\text{C} = 523$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H_r^{\circ}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dimana :

K1 = konstanta kesetimbangan pada 298K

K2 = konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

T1 = suhu operasi ($250^{\circ}\text{C} = 523$ K)

T2 = suhu standar ($25^{\circ}\text{C} = 298$ K)

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol)

= panas reaksi standar pada 298 K

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{-464.340 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K}} \left(\frac{1}{523} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = 0.0825$$

