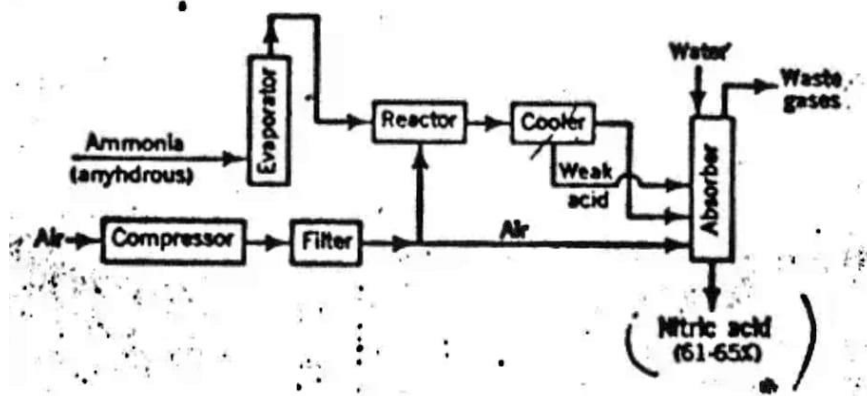


BAB II**PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES****II.1. Jenis Proses Pembuatan Asam Nitrat**

Pembuatan asam nitrat dapat dilakukan dengan beberapa proses yaitu, proses oxidation dan proses retort

II.1.1. Proses Oxidation

Gambar II. 1 Flowsheet Dasar Proses Oksidasi

Proses oksidasi merupakan metode utama dalam produksi asam nitrat secara industri. Proses ini memanfaatkan reaksi antara gas amonia (NH_3) dengan oksigen (O_2) membentuk nitrogen monoksida (NO) yang kemudian dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrogen dioksida (NO_2). Reaksi ini bersifat eksotermis dan berlangsung pada suhu tinggi (sekitar 850°C) serta tekanan menengah hingga tinggi (sekitar 5–10 atm). Katalis yang digunakan biasanya adalah campuran platinum-rhodium dalam bentuk kasa logam (gauze). Proses ini kemudian diikuti dengan tahapan absorpsi NO_2 oleh air untuk membentuk asam nitrat. Efisiensi proses ini tinggi dan memungkinkan pemanfaatan panas hasil reaksi untuk pembangkitan uap yang dapat dimanfaatkan kembali dalam sistem utilitas pabrik

a. Dupont Oxidation

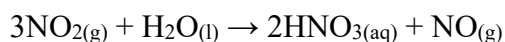
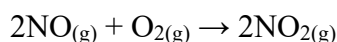
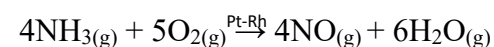
Proses DuPont, juga dikenal sebagai Monopressure Process, menggunakan satu tingkat tekanan yang sama baik pada tahap reaksi maupun absorpsi, yaitu berkisar antara 5–10 atm. Proses ini sederhana dan hanya memerlukan satu sistem tekanan, sehingga tidak membutuhkan alat bantu tambahan



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

seperti kompresor, yang berdampak pada penurunan biaya investasi awal. Proses ini menggunakan reaktor oksidasi dan dua menara absorber untuk membentuk asam nitrat dengan konsentrasi sekitar 60–65%. Katalis Pt-Rh berbentuk gauze digunakan dalam reaktor dan diganti setiap 6 bulan. Steam yang dihasilkan selama reaksi sangat bermanfaat untuk sistem utilitas, seperti pembangkit listrik dan pemanas. Proses ini banyak digunakan di industri karena amonia sebagai bahan baku mudah diperoleh dan efisien secara energi. Berikut reaksi proses oksidasi :



b. Dual- Pressure

Proses Dual Pressure mengombinasikan operasi dengan dua tingkat tekanan berbeda, yaitu tekanan menengah (0,3–0,6 MPa) untuk tahap oksidasi dan tekanan tinggi (1–1,4 MPa) untuk tahap absorpsi. Tujuannya adalah untuk menggabungkan keuntungan dari efisiensi energi rendah pada tekanan sedang dan efisiensi absorpsi tinggi pada tekanan tinggi. Meskipun lebih kompleks dan memerlukan peralatan tambahan seperti kompresor, proses ini mampu menghasilkan asam nitrat dengan konsentrasi lebih tinggi, sekitar 70%. Tantangan pada proses ini adalah risiko pengendapan garam di kompresor gas NO yang harus dibersihkan secara periodik dengan injeksi steam. Namun, efisiensi keseluruhan proses ini membuatnya layak digunakan pada pabrik dengan skala besar. Proses ini sangat cocok ketika kualitas produk dan efisiensi jangka panjang menjadi prioritas utama.

Berikut merupakan perhitungan stoikiometri dan analisa ekonomi dari proses oksidasi, dimana reaksi terjadi dalam 3 alat utama yang berbeda yakni



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

Reaksi Overall

Konversi reaksi 95%

	NH ₃	+	O ₂	HNO ₃	+	H ₂ O
m	58,8235		117,6471	0.0000		0.0000
r	55,8824		111,7647	55,8824		55,8824
s	2,9412		5,8824	55,8824		55,8824

Reaktan

NH₃ masuk	=	1000	kg/jam
	=	58,8235	kmol/jam
NH₃ bereaksi	=	58,8235 x 0,95	
	=	55,8824	kmol/jam
	=	950	kg/jam
NH₃ yang sisa	=	58,8235 - 55,8824	kmol/jam
	=	2,9412	kmol/jam
	=	50	kg/jam
O₂ masuk	=	58,8235 x 2	
	=	117,6471	kmol/jam
	=	3764,7059	kg/jam
O₂ bereaksi	=	55,8824 x 2	
	=	111,7647	kmol/jam
	=	3576,4706	kg/jam
O₂ keluar	=	117,6471 - 111,7647	kmol/jam
	=	5,8824	kmol/jam
	=	188,2353	kg/jam

Produk yang dihasilkan

HNO₃ masuk	=	0	kmol/jam
	=	0	kg/jam
HNO₃ bereaksi	=	55,8824 x 1	
	=	55,8824	kmol/jam
	=	3520,5882	kg/jam
HNO₃ keluar	=	0.0000 + 55,8824	kmol/jam



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

$$\begin{aligned}
 &= 55,8824 \quad \text{kmol/jam} \\
 &= 3520,5882 \quad \text{kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O masuk} &= 0 \quad \text{kmol/jam} \\
 &= 0 \quad \text{kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O bereaksi} &= 55,8824 \quad \times \quad 1 \\
 &= 55,8824 \quad \text{kmol/jam} \\
 &= 1005,8824 \quad \text{kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O keluar} &= 0.0000 \quad + \quad 55,8824 \quad \text{kmol/jam} \\
 &= 55,8824 \quad \text{kmol/jam} \\
 &= 1005,8824 \quad \text{kg/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel II. 1 Analisa Kebutuhan dan Hasil Reaksi Pada Proses Oksidasi

Komponen	Kebutuhan (kg Komponen/kg HNO ₃)
Ammonia	0,2840
Oksigen	1,0693
Asam Nitrat	1

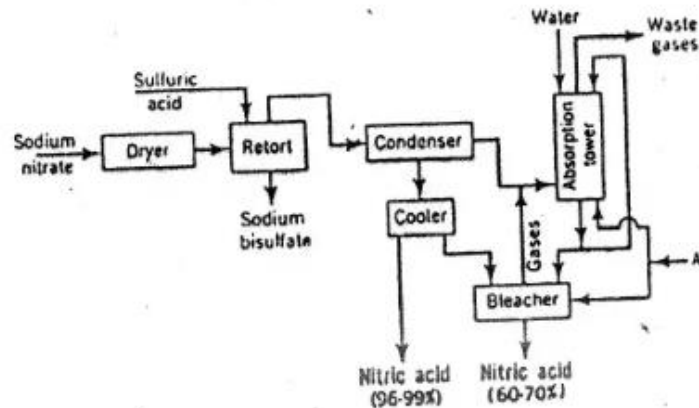
Tabel II. 2 Analisa Ekonomi Proses Oksidasi

Komponen	Harga (Rp/kg)	Biaya (Rp)
Ammonia	Rp 7.500	Rp 2.130
Oksigen	Rp 1.867	Rp 1.996
Asam Nitrat	Rp 30.000	Rp 30.000

$$\begin{aligned}
 \text{Hasil} &= \text{Biaya Produk} - \text{Biaya Reaktan} \\
 &= \text{Rp } 30.000 - (\text{Rp } 2.130 + \text{Rp } 1.996) \\
 &= \text{Rp } 25.874
 \end{aligned}$$

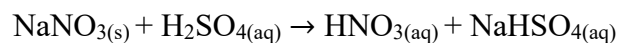
$$\begin{aligned}
 \text{Rasio} &= \text{Harga Produk} / \text{Harga Reaktan} \\
 &= \frac{\text{Rp } 30.000}{\text{Rp } 7.500 + \text{Rp } 1.867} \\
 &= \frac{\text{Rp } 30.000}{\text{Rp } 9.367} \\
 &= 3,2028
 \end{aligned}$$

II.1.2. Proses Retort



Gambar II. 2 Flowsheet Dasar Proses Retort

Proses retort merupakan metode alternatif pembuatan asam nitrat yang tidak melibatkan amonia dan oksigen, melainkan reaksi antara natrium nitrat (NaNO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4). Reaksi berlangsung pada suhu $150\text{--}200^\circ\text{C}$ selama kurang lebih 12 jam dan bersifat eksotermis. Produk yang dihasilkan adalah asam nitrat dengan konsentrasi tinggi (90–99%), yang dikondensasi dari fase gas menggunakan kondensor acid-proof. Keunggulan utama proses ini adalah suhu operasional yang relatif rendah dan kesederhanaan reaksi. Namun, proses ini memiliki kelemahan besar: bahan baku utama seperti NaNO_3 sulit diperoleh di dalam negeri, sehingga tergantung pada impor, serta yield proses yang lebih rendah dibanding proses oksidasi. Akibatnya, proses retort jarang digunakan pada skala industri besar dan lebih sesuai untuk produksi kecil atau laboratorium. Reaksi yang terjadi adalah :



Berikut merupakan perhitungan stoikiometri dan analisa ekonomi dari proses retort:

Reaksi Utama

Konversi reaksi 97%

	NaNO_3	+	H_2SO_4		HNO_3	+	NaHSO_4
m	11,5294		11,5294		0,0000		0,0000
r	11,1835		11,1835		11,1835		11,1835
s	0,3459		0,3459		11,1835		11,1835



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

Reaktan

NaNO₃ masuk	=	980,0000	kg/jam
	=	11,5294	kmol/jam
NaNO₃ bereaksi	=	11,5294 x 0,97	
	=	11,1835	kmol/jam
	=	950,6000	kg/jam
NaNO₃ yang sisa	=	11,5294 - 11,1835	kmol/jam
	=	0,3459	kmol/jam
	=	29,4000	kg/jam
H₂SO₄ masuk	=	11,5294 x 1	
	=	11,5294	kmol/jam
	=	1129,8824	kg/jam
H₂SO₄ bereaksi	=	11,1835 x 1	
	=	11,1835	kmol/jam
	=	1095,9859	kg/jam
H₂SO₄ keluar	=	11,5294 - 11,1835	kmol/jam
	=	0,3459	kmol/jam
	=	11,0682	kg/jam

Produk yang dihasilkan

HNO₃ masuk	=	0	kmol/jam
	=	0	kg/jam
HNO₃ bereaksi	=	11,1835 x 1	
	=	11,1835	kmol/jam
	=	704,5624	kg/jam
HNO₃ keluar	=	0,0000 + 11,1835	kmol/jam
	=	11,1835	kmol/jam
	=	704,5624	kg/jam
NaHSO₄ masuk	=	0	kmol/jam
	=	0	kg/jam
NaHSO₄ bereaksi	=	11,1835 x 1	
	=	11,1835	kmol/jam



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

$$\begin{aligned} &= 1342,0235 \text{ kg/jam} \\ \text{NaHSO}_4 \text{ keluar} &= 0,0000 + 11,1835 \text{ kmol/jam} \\ &= 11,1835 \text{ kmol/jam} \\ &= 1342,0235 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Tabel II. 3 Analisa Kebutuhan dan Hasil Reaksi Pada Proses Retort

Komponen	Kebutuhan (kg Komponen /Kg HNO ₃)
Natrium Nitrat	1,3909
Asam Sulfat	1,6036
Asam Nitrat	1

Tabel II. 4 Analisa Ekonomi Proses Retort

Komponen	Harga (Rp/kg)	Biaya (Rp)
Natrium Nitrat	Rp 14.594	Rp 20.300
Asam Sulfat	Rp 1.942	Rp 3.114
Asam Nitrat	Rp 30.000	Rp 30.000

$$\begin{aligned} \text{Hasil} &= \text{Biaya Produk} - \text{Biaya Reaktan} \\ &= \text{Rp } 30.000 - (\text{Rp } 20.300 + \text{Rp } 3.114) \\ &= \text{Rp } 6.587 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \text{Harga Produk} / \text{Harga Reaktan} \\ &= \frac{\text{Rp } 30.000}{\text{Rp } 14.594 + \text{Rp } 1.942} \\ &= \frac{\text{Rp } 30.000}{\text{Rp } 16.536} \\ &= 1,8142 \end{aligned}$$



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

II.2. Seleksi Proses

Berdasarkan penjelasan terkait jenis proses pembuatan asam nitrat diatas, maka didapat perbandingan antara proses Oksidasi dan proses Retort.

Tabel II. 5 Seleksi Proses Pabrik Asam Nitrat

Aspek	Proses Oksidasi	Proses Retort
Bahan Baku	Amonia dan oksigen, mudah diperoleh dari dalam negeri	Natrium nitrat dan asam sulfat, sulit diperoleh (impor)
Kondisi Operasi	Suhu tinggi (750–850°C), tekanan menengah-tinggi (5–10 atm)	Suhu sedang (150–200°C), tekanan atmosfer
Konsentrasi Produk	Sekitar 60–70% HNO ₃	Dapat mencapai hingga 90–99% HNO ₃
Efisiensi Energi	Tinggi, menghasilkan steam yang bisa digunakan kembali	Tidak menghasilkan steam; efisiensi energi rendah
Peralatan Tambahan	Mebutuhkan sistem pendingin, kompresor (khususnya pada Dual Pressure)	Tidak banyak alat bantu, sistem lebih sederhana
Biaya Operasional	Lebih ekonomis untuk skala besar	Lebih tinggi karena bahan baku mahal dan impor
Kompleksitas Proses	Lebih kompleks, terutama dalam pengendalian suhu dan tekanan	Proses lebih sederhana namun waktu reaksi lebih lama (12 jam)
Keamanan dan Risiko	Risiko tinggi karena suhu dan tekanan tinggi	Risiko sedang, namun tetap berbahaya karena penggunaan asam pekat
Skalabilitas Industri	Cocok untuk skala industri besar	Kurang cocok untuk skala besar, lebih sesuai untuk laboratorium atau skala kecil



PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

Ekonomi Potensial	Didapatkan keuntungan sebesar Rp. 27.092 dengan rasio 1:3	Didapatkan keuntungan sebesar Rp. 6.587 dengan rasio 1:1
-------------------	---	--

Dari berbagai proses yang tersedia dalam tahap pra-perancangan pabrik asam nitrat, proses yang dipilih adalah oksidasi dengan dupont process atau monopressure process. Pemilihan proses ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu:

1. Biaya investasi pembangunan pabrik tergolong lebih ekonomis
2. Proses mampu menghasilkan produk dengan *yield* yang cukup tinggi
3. Proses ini juga menghasilkan uap (steam) dalam jumlah besar, sehingga dapat membantu mengurangi kebutuhan tambahan uap dalam sistem

II.3. Uraian Proses

a. Proses persiapan bahan baku

Amonia cair disimpan dalam Tangki Penyimpanan Amonia (F-110) pada kondisi 12 atm dan 30 °C. Amonia cair kemudian dialirkan melalui Expansion Valve-1 (EV-111) sehingga tekanannya diturunkan menjadi 9 atm dan suhu 20 °C lalu dialirkan ke Vaporizer (V-120). Di dalam vaporizer, amonia diuapkan hingga fase gas pada suhu sekitar 47 °C. Campuran gas-cair yang terbentuk dialirkan ke Separator-1 (D-121) untuk memisahkan amonia gas dari sisa cairan. Sisa cairan selanjutnya didinginkan di Cooler-1 (E-122) hingga suhu 20 °C pada tekanan 8 atm, kemudian ammonia gas dipanaskan kembali di Heater-1 (E-123) hingga mencapai 300 °C pada tekanan 8 atm sebagai persiapan pencampuran dan reaksi.

Oksigen diperoleh dalam fase gas melalui sistem pipeline dari pemasok eksternal pada tekanan 1 atm. Gas oksigen ini kemudian dialirkan ke Kompresor-1 (K-143) untuk dikompresi hingga mencapai tekanan 8 atm. Setelah proses kompresi, gas oksigen dipanaskan di Heater-2 (E-144) hingga mencapai suhu sekitar 300 °C agar sesuai dengan kondisi operasi pada tahap pencampuran dan reaksi selanjutnya.



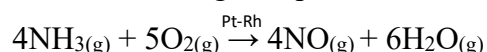
PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

Gas ammonia dan gas oksigen disemprotkan secara bersamaan, kemudian dipaksa untuk membelah dan berputar oleh pelat didalam higga tercampur secara homogen di Mixer (M-124) pada kondisi 300 °C dan 8 atm.. Campuran gas kemudian dialirkan ke Furnace (Q-150) dan dipanaskan hingga mencapai suhu masuk reaktor sekitar 780 °C pada tekanan 8 atm.

b. Proses oksidasi ammonia

Campuran gas panas dialirkan ke Reaktor Oksidasi Amonia (R-210). Reaktor ini menggunakan katalis utama berupa gauze Platinum–Rhodium (Pt–Rh) yang berfungsi mengkatalisis reaksi oksidasi amonia menjadi nitrogen monoksida (NO) dan air pada kondisi suhu tinggi (780 °C) dan tekanan menengah. Reaksi ini mengikuti persamaan kimia berikut:



Pada reaktor terdapat susunan katalis Pt–Rh berbentuk gauze dengan komposisi 90% Pt dan 10% Rh. Sebesar 95% gas umpan dikonversi menjadi nitrogen monoksida (NO), sedangkan sekitar 5% lainnya bereaksi lebih lanjut menghasilkan nitrogen (N₂) (US Patent 6165435). Reaktor yang digunakan merupakan Fixed Bed Multitube Reactor yang beroperasi secara isothermal. Kondisi operasi reaktor meliputi suhu 780 °C dan tekanan 8 atm. Mengingat reaksi bersifat sangat eksotermis, digunakan media pendingin berupa Dowtherm A untuk menjaga kestabilan suhu. Suhu aliran produk yang keluar dari reaktor tetap berada pada 780 °C dengan komponen utama berupa uap air, oksigen, dan nitrogen oksida.

Gas hasil reaksi keluar dari reaktor pada suhu tinggi dan dialirkan ke Waste Heat Boiler (E-211) untuk memulihkan panas gas keluaran reaktor dan menghasilkan superheated steam pada suhu ±400 °C, yang selanjutnya digunakan sebagai media pemanas pada unit vaporizer dan heater, sehingga kebutuhan energi eksternal dapat dikurangi dan efisiensi utilitas pabrik meningkat, dengan suhu gas turun dari 780 °C menjadi sekitar 226 °C pada tekanan 8 atm. Gas kemudian didinginkan lebih lanjut di Cooler-Kondensor (E-212) hingga suhu 150 °C. Campuran gas dan kondensat dipisahkan di Separator-3 (D-213) pada tekanan 7 atm dan suhu 150 °C. Air kondensat



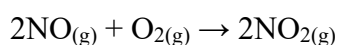
PRA RANCANGAN PABRIK

“Pabrik Asam Nitrat dari Ammonia dan Oksigen melalui Proses *Dupont Oxidation* dengan Katalis *Platinum-Rhodium*”

yang terkondensasi dipisahkan menggunakan separator dan dialirkan menuju IPAL.

c. Proses oksidasi lanjutan

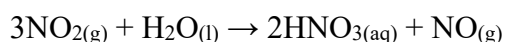
Gas hasil pemisahan didinginkan di Cooler-3 (E-215) hingga suhu 38 °C, kemudian dialirkan oleh Blower (B-216) menuju Oxidation Chamber (R-220). Di unit ini, nitrogen monoksida (NO) dioksidasi menjadi nitrogen dioksida (NO₂) pada kondisi suhu sekitar 38 °C dan tekanan 7 atm.. Berikut reaksi yang terjadi :



Proses oksidasi ini bersifat eksotermis dan berlangsung tanpa memerlukan katalis sehingga digunakan media pendingin berupa cooling water yang dialirkan melalui coil di dalam oxidation chamber.

d. Proses absorpsi

Proses absorpsi bertujuan untuk menghasilkan asam nitrat dengan konsentrasi 68%. Gas NO₂ kemudian dialirkan ke Absorber (D-310), di mana gas tersebut diabsorpsi oleh air membentuk larutan asam nitrat. Proses absorpsi berlangsung pada suhu sekitar 38 °C dan tekanan 7 atm untuk mencapai efisiensi pembentukan HNO₃ yang tinggi. Reaksi yang berlangsung dapat dituliskan sebagai berikut:



Aliran atas absorber terdiri dari oksigen, nitrogen, nitrogen dioksida dan nitrogen monoksida. Campuran gas tersebut kemudian dialirkan menuju unit IPAL.

e. Proses penanganan produk

Sementara itu, aliran bawah absorber mengandung air dan asam nitrat. Larutan asam nitrat yang keluar dari absorber diturunkan tekanannya melalui Expansion Valve-3 (EV-322) hingga 1 atm, kemudian didinginkan di Cooler-4 (E-323) sampai suhu 30 °C. Selanjutnya, asam nitrat dipompa menggunakan Pompa (L-324) menuju Tangki Penyimpanan Asam Nitrat (F-330) pada kondisi 30 °C dan 1 atm sebagai produk akhir.