



**PRARANCANG PABRIK ASAM NITRAT
MENGUNAKAN PROSES *OSTWALD MONO-HIGH
PRESSURE* KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN: STUDI
DESAIN *FIXED BED MULTITUBE REACTOR***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

Muhammad Arief Mahardhika

NIM. 5213415051

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Muhammad Arief Mahardhika
NIM : 5213415051
Program Studi : S-1 Teknik Kimia
Judul Skripsi : Prarancang Pabrik Asam Nitrat Menggunakan Proses
Ostwald Mono-High Pressure Kapasitas 100.000
Ton/Tahun: Studi Desain *Fixed Bed Multitube Reactor*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 29 Juli 2019

Pembimbing,



Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.

NIP. 197309082006042001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Prarancang Pabrik Asam Nitrat Menggunakan Proses *Ostwald Mono-High Pressure* Kapasitas 100.000 Ton/Tahun: Studi Desain *Fixed Bed Multitube Reactor*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 7 bulan Agustus tahun 2019.

Oleh:

Nama : Muhammad Arief Mahardhika
NIM : 5213415051
Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Ketua Panitia



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Sekretaris



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji 1



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Penguji 2



Radenrara Dewi Artanti P., S.T., M.T.
NIP. 198711192014042002

Pembimbing



Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.
NIP. 197309082006042001

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



Dr. Nurcahyo, M.T. IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 7 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Arief Mahardhika

NIM. 5213415051

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Selalu: Belajar, Berusaha, dan Berdoa”

PERSEMBAHAN

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Ibu dan Bapak
3. Kakak dan Adik
4. Saudaraku
5. Dosen-dosenku
6. Sahabat-sahabatku
7. Almamaterku

ABSTRAK

Mahardhika, Muhammad Arief. 2019. “Prarancang Pabrik Asam Nitrat Menggunakan Proses *Ostwald Mono-High Pressure* Kapasitas 100.000 Ton/Tahun: Studi Desain *Fixed Bed Multitube Reactor*”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
Pembimbing Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T.

Pertumbuhan industri manufaktur besar dan sedang di Indonesia terus mengalami peningkatan, diantaranya sektor industri kimia. Peningkatan produksi sektor industri kimia disebabkan karena kebutuhan yang semakin besar. Salah satu produk dari industri kimia yang kebutuhannya semakin besar yaitu asam nitrat, hal ini dapat dibuktikan dari impor asam nitrat dari tahun 2009 sampai dengan 2017 selalu mengalami kenaikan. Produk asam nitrat yang dihasilkan dari proses *Ostwald mono-high pressure* terdiri dari beberapa tahapan reaksi yaitu, reaksi katalitik oksidasi antara amonia dengan oksigen menggunakan katalis berupa platinum-rhodium, reaksi oksidasi lanjutan antara nitrogen monoksida dengan oksigen, dan reaksi absorpsi antara gas NO_2 dengan air. Reaksi utama yaitu reaksi katalitik oksidasi antara amonia dengan oksigen menggunakan katalis platinum-rhodium terjadi pada reaktor *fixed bed multitube*. Digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain tinggi reaktor *fixed bed multitube*. Hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* menghasilkan diameter sebesar 2,132 m, tinggi 8,798 m, jumlah tube sebanyak 722 tube, dan volume reaktor sebesar $30,306 \text{ m}^3$.

Kata kunci: Industri kimia, Asam Nitrat, Reaktor *fixed bed multitube*.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prarancang Pabrik Asam Nitrat Menggunakan Proses *Ostwald Mono-High Pressure* Kapasitas 100.000 Ton/Tahun: Studi Desain *Fixed Bed Multitube Reactor*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia
3. Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya serta penuh kesabaran memberikan bimbingan, motivasi, pengarahan dalam penyusunan skripsi.
4. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
5. Radenrara Dewi Artanti Putri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Ibu dan keluarga yang telah memberikan perhatian dan dukungannya.
7. Teman-teman angkatan 2015 dan semua pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan maupun industri di masyarakat.

Semarang, 7 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Proses <i>Ostwald</i> secara umum.....	6
2.2 Pembuatan Asam Nitrat dengan Proses <i>Ostwald Mono-High Pressure</i>	7
2.3 Pemilihan Katalis	8
2.4 Tinjauan Termodinamika	9
2.5 Tinjauan Kinetika.....	11
2.6 Reaktor <i>Fixed Bed Multitube</i>	11
2.7 Metode <i>Runge-Kutta</i> Orde Empat.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	13
3.2 Alat dan Bahan.....	13
3.3 Prosedur Kerja.....	13

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Perhitungan Reaktor <i>Fixed Bed Multitube</i> Asam Nitrat	14
BAB V PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 $\Delta H^{\circ}f$ dan $\Delta G^{\circ}f$ masing-masing komponen reaksi 1.1	9
Tabel 4.1 Data Umpan Masuk Reaktor.....	15
Tabel 4.2 Data Densitas masing-masing Komponen	15
Tabel 4.3 Data Viskositas masing-masing Komponen	15
Tabel 4.4 Data Kapasitas Panas masing-masing Komponen.....	16
Tabel 4.5 Data Konduktivitas Termal masing-masing Komponen.....	16
Tabel 4.6 Data Umpan Masuk Reaktor.....	18
Tabel 4.7 Data Perhitungan Densitas Umpan	19
Tabel 4.8 Data Perhitungan Viskositas Umpan	21
Tabel 4.9 Data Perhitungan Kapasitas Panas Umpan	21
Tabel 4.10 Data Perhitungan Konduktivitas Termal Umpan.....	22
Tabel 4.11 Hubungan Diameter Tube dengan Koefisien Transfer Panas	23
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan tinggi Tube Reaktor.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Reaktor <i>Fixed Bed Multitube</i>	14
Gambar 4.2 Sketsa Neraca Massa pada elemen ΔV dari z sampai $z + \Delta z$	17
Gambar 4.3 Susunan Pipa <i>Triangular Pitch</i>	25
Gambar 4.4 Algoritma Perhitungan Konversi dan Tinggi Reaktor	33
Gambar 4.5 Sketsa <i>Head</i> Reaktor	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri manufaktur besar dan sedang di Indonesia terus mengalami peningkatan, diantaranya sektor industri kimia (Badan Pusat Statistika, 2017). Peningkatan produksi sektor industri kimia disebabkan karena kebutuhan yang semakin besar. Salah satu produk dari industri kimia yang kebutuhannya semakin besar yaitu asam nitrat, hal ini dapat dibuktikan dari impor asam nitrat dari tahun 2009 sampai dengan 2017 selalu mengalami kenaikan (Badan Pusat Statistika, 2017).

Asam nitrat merupakan bahan kimia yang banyak berperan penting dalam bahan baku industri pupuk di Indonesia. Asam nitrat dengan rumus kimia HNO_3 merupakan cairan tidak berwarna pada temperatur dan tekanan atmosfer dan bersifat sebagai asam kuat. Dalam proses pembuatannya terdapat beberapa proses yang bisa dilakukan, diantaranya proses Nitrat, proses *Birkland-Eyde*, dan proses *Ostwald* (Anderson, 2012). Dari ketiga proses tersebut yang dipilih adalah proses *Ostwald* karena proses yang terbaru dan digunakan pada semua industri komersil pembuatan asam nitrat di dunia, bahan baku yang digunakan lebih mudah didapatkan daripada proses Nitrat, dan konsumsi energi lebih kecil dibandingkan proses *Birkland-Eyde*. Saat ini, proses *Ostwald* tersebut telah banyak dikembangkan dan terdapat beberapa kondisi operasi, diantaranya *mono-medium pressure*, *mono-high pressure*, dan *dual pressure*. Dari ketiga jenis kondisi operasi tersebut dipilih kondisi

operasi *mono-high pressure* karena biaya *capital cost* paling rendah, energi recovery lebih besar sehingga mengurangi kebutuhan utilitas, dan kapasitas pabrik ± 300 ton / hari sehingga memungkinkan menggunakan proses *Ostwald mono-high pressure* (Thyssenkrup, 2015).

Produk asam nitrat yang dihasilkan dari proses *Ostwald mono-high pressure* terdiri dari beberapa tahapan reaksi yaitu, reaksi katalitik oksidasi antara amonia dengan oksigen menggunakan katalis berupa platinum-rhodium, reaksi oksidasi lanjutan antara nitrogen monoksida dengan oksigen, dan reaksi absorpsi antara gas NO_2 dengan air (Ullmann, 2012). Reaksi utama yaitu reaksi katalitik oksidasi antara amonia dengan oksigen menggunakan katalis platinum-rhodium terjadi pada reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi katalitik oksidasi amonia bersifat sangat eksotermis yang melepas panas ke lingkungan sehingga untuk mempertahankan suhu reaksi, maka dalam shell reaktor dialirkan pendingin berupa molten salt. Oleh karena itu, reaktor beroperasi pada kondisi isothermal non adiabatik pada suhu 900°C dan tekanan 10 atm (Ullmann, 2012).

Reaksi yang terjadi sangat berpengaruh dalam menentukan dimensi reaktor terutama tinggi dari reaktor tersebut. Untuk mengetahui tinggi reaktor yang digunakan perlu dilakukan perhitungan model matematis terhadap konversi reaksi yang diinginkan. Beberapa perhitungan model matematis yang pernah digunakan diantaranya metode integrasi numerik seperti trapezoidal, simpson, metode *Euler*, dan metode *Runge-Kutta* (Hurol, 2013). Dari berbagai metode permodelan matematis tersebut, yang paling efektif dan

paling akurat adalah metode *Runge-Kutta* (Hurol, 2013). Metode *Runge-Kutta* terdiri dari 4 jenis, yaitu orde satu, orde dua, orde tiga, dan orde empat. Dari keempat jenis tersebut dipilih metode *Runge-Kutta* orde empat karena yang paling populer dan paling banyak digunakan dalam perhitungan (Hurol, 2013).

Oleh karena itu, pada penelitian prarancang pabrik asam nitrat menggunakan proses *Ostwald mono-high pressure* kapasitas 100.000 ton/tahun: studi desain *fixed bed multitube reactor* digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain tinggi reaktor *fixed bed multitube*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Asam nitrat merupakan bahan kimia penting yang masih banyak dibutuhkan di Indonesia, tetapi keberadaannya tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut sehingga masih impor dari negara lain.
2. Reaktor *fixed bed multitube* merupakan alat penting pada pembuatan asam nitrat dalam hal proses oksidasi katalitik amonia oleh oksigen dengan bantuan katalis Platinum:Rhodium.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar permasalahan tidak meluas dan dapat dibahas secara mendalam pada penelitian ini, meliputi:

1. Reaktor *fixed bed multitube* adalah alat yang akan dirancang pada penelitian ini.
2. Digunakan metode *Runge-Kutta* orde empat dalam mendesain tinggi reaktor *fixed bed multitube*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dikemukakan rumusan masalah yang tepat sebagai berikut:

1. Bagaimana proses perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik asam nitrat kapasitas 100.000 ton/tahun?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik asam nitrat kapasitas 100.000 ton/tahun?
3. Bagaimana hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik asam nitrat kapasitas 100.000 ton/tahun?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik asam nitrat kapasitas 100.000 ton/tahun.
2. Mengetahui cara mengaplikasikan metode *Runge-Kutta* orde empat pada proses perancangan tinggi reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik asam nitrat kapasitas 100.000 ton/tahun.
3. Mengetahui hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* pada pabrik asam nitrat kapasitas 100.000 ton/tahun.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

1. Bagi IPTEK

Memberikan kontribusi dan wawasan dibidang perancangan alat reaktor *fixed bed multitube* dalam industri kimia.

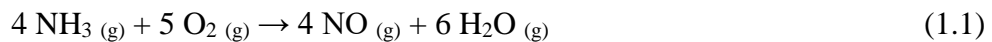
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses *Ostwald* secara umum

Asam nitrat dapat dihasilkan dari metode katalitik oksidasi amonia pada tekanan tinggi, metode tersebut mereaksikan antara amonia dan oksigen dengan bantuan katalis platinum-rhodium pada suhu 900 °C dan tekanan 0,7–1,2 MPa (7–12 atm) (Ullmann, 2012). berikut tahapan reaksi utama yang terjadi :

Tahap pertama adalah katalitik oksidasi amonia menjadi nitrogen oksida dengan bantuan katalis platinum-rhodium dengan konversi sebesar 98%.



(Ullmann, 2012)

Tahap kedua yaitu oksidasi NO to NO₂ tanpa menggunakan katalis dengan konversi sebesar 95%.



(Ullmann, 2012)

Tahap ketiga yaitu absorpsi NO₂ dengan menggunakan air dengan konversi sebesar 80%.



(Counce dkk, 1980)

2.2 Pembuatan Asam Nitrat dengan Proses *Ostwald Mono-High Pressure*

a. Tahap reaksi oksidasi amonia

Dalam reaktor terjadi reaksi oksidasi katalitik antara NH_3 dan O_2 dengan konversi sebesar 98%. Reaktan yang bereaksi merupakan fase gas dengan menggunakan campuran katalis padat Pt-Rh (90%-10%) sehingga reaktor yang digunakan pada proses ini adalah reaktor *fixed bed multitube* (Fogler, 2005). Feed masuk pada suhu 900°C ke dalam reaktor dengan kondisi isothermal non adiabatik pada suhu 900°C dan tekanan 10 atm. Reaksi ini bersifat sangat eksotermis yang melepas panas ke lingkungan sehingga untuk mempertahankan suhu reaksi, maka dalam *shell* reaktor dialirkan pendingin berupa *molten salt*.

(Ullmann, 2012).

b. Tahap reaksi oksidasi lanjutan

Tahap oksidasi berlangsung seiring dengan penurunan suhu, sehingga dilakukan usaha untuk menurunkan suhu keluaran reaktor. Suhu gas keluaran reaktor 900°C diturunkan suhunya menjadi 400°C melalui *Waste Heat Boiler* sebagai produksi steam. Selanjutnya campuran gas didinginkan dalam HE hingga mencapai suhu 356°C yang kemudian dilewatkan pada cooler hingga suhu mencapai 100°C . Campuran gas kemudian dilewatkan condensor untuk diubah sebagian fase gas nya menjadi cair dan pada tahap ini terjadi reaksi oksidasi lanjutan, dimana gas NO dioksidasi dengan O_2 membentuk gas NO_2 . Setelah itu air yang terbentuk pada reaktor yang sudah berubah menjadi fase cair pada

condensor kemudian mengabsorpsi gas NO_2 yang berada dalam campuran sehingga membentuk kondensat HNO_3 dengan konsentrasi 40-50% dalam kondensor parsial pada suhu 50°C . Kemudian fase gas berupa gas NO_x diumpangkan ke bagian bawah absorber sedangkan fase cair berupa larutan asam nitrat lemah dipompakan ke bagian atas absorber.

(Ullmann, 2012)

c. Tahap Proses Absorpsi

Tahap ini bertujuan untuk menyerap gas NO_2 dengan H_2O hingga terbentuk HNO_3 dengan konsentrasi maksimal 65% pada tekanan 10 atm dan suhu 50°C . Absorber yang digunakan adalah jenis *sieve-tray*, serta H_2O diumpangkan pada bagian atas menara absorber sebagai absorben. Hasil atas berupa tail gas (NO_x) dengan suhu keluar diatur 30°C dan hasil bawah absorber berupa larutan maksimal 65% HNO_3 yang kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan produk pada kondisi atmosferik.

(Ullmann, 2012)

2.3 Pemilihan Katalis

Fungsi katalis pada reaksi katalitik oksidasi amonia dalam proses pembuatan asam nitrat yaitu untuk mepercepat reaksi dan meningkatkan konversi amonia menjadi asam nitrat (Ullmann, 2012). Katalis yang digunakan pada reaksi katalitik oksidasi amonia yaitu campuran antara platinum dan rhodium dengan perbandingan (Pt) 90% : (Rh) 10%. (Ullmann, 2012). Pemilihan platinum sebagai katalis karena sudah terbukti cocok digunakan

dalam proses oksidasi amonia, mudah didapatkan dan murah serta pemilihan rhodium untuk meningkatkan kekuatan katalis sehingga dalam proses oksidasi amonia berlangsung reduksi katalis dapat diminimalisir (Ullmann, 2012).

2.4 Tinjauan Termodinamika

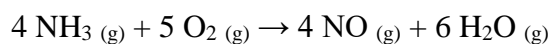
Dalam menentukan sifat (eksotermis/endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*), maka perlu perhitungan dengan menggunakan panas pembentukan standar ($\Delta H^{\circ}f$) dan energi bebas Gibbs ($\Delta G^{\circ}f$) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K (Smith dkk, 2001).

Data entalpi pembentukan standar ($\Delta H^{\circ}f$) dan energi bebas Gibbs ($\Delta G^{\circ}f$) senyawa yang terlibat dalam reaksi (1.1) disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 $\Delta H^{\circ}f$ dan $\Delta G^{\circ}f$ masing-masing komponen reaksi 1.1

Senyawa	($\Delta H^{\circ}f$) kkal/mol	($\Delta G^{\circ}f$) kkal/mol
NH ₃ (g)	-11,0206	-3,9316
O ₂ (g)	0	0
NO (g)	21,5702	20,6859
H ₂ O (g)	-57,796	-54,63

(Smith dkk., 2001).



$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}f_{298 \text{ K}} &= \Sigma \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Sigma \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} & (1.4) \\ &= [(4 \cdot 21,5702) + (6 \cdot (-57,796))] - [(4 \cdot (-11,0206)) + (5 \cdot 0)] \\ &= -216,4128 \text{ kkal/mol} \\ &= -905,4711 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Sesuai persamaan 1.4, maka $\Delta G^{\circ}f_{298 \text{ K}}$ yang didapat sebesar :

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ f}_{298\text{ K}} &= -229,31 \text{ kkal/mol} \\ &= -959,433 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung K_o dan K , dimana K_o merupakan harga konstanta kesetimbangan pada suhu 298,15 K dan K merupakan harga konstanta kesetimbangan pada suhu proses.

K_o standar pada suhu 298,15 K

$$\begin{aligned}K_o &= e^{-\Delta G / RT_o} & (1.5) \\ &= e^{-(959,433) / (8,314 \times 298,15)} \\ &= 1,472\end{aligned}$$

K pada suhu 900 °C = 1173,15 K

$$\ln \frac{K}{K_o} = -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (1.6)$$

$$\ln \frac{K}{1,472} = -\frac{-905,4711}{8,314} \times \left(\frac{1}{1173,15} - \frac{1}{298,15} \right)$$

$$K = 1,1209$$

Keterangan : R = konstanta gas ideal, J / (mol K)

T_o = Suhu standar 298.15 K

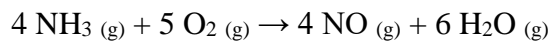
T = Suhu pada saat proses

Dari hasil perhitungan didapat nilai $\Delta H^{\circ f}$ negatif untuk reaksi 1.1, dengan demikian reaksi berjalan secara eksotermis, sedangkan $\Delta G^{\circ f}$ bernilai negatif yang artinya reaksi berjalan secara spontan (Smith dkk, 2001). Harga K menunjukkan nilai > 1 sehingga reaksi bersifat searah (*irreversible*) (Smith dkk, 2001).

2.5 Tinjauan Kinetika

Secara umum, derajat kelangsungan reaksi ditentukan oleh konstanta kecepatan reaksi (k), orde reaksi dan konsentrasi reaktan.

Laju reaksi katalitik oksidasi amonia pada temperatur 900°C ditentukan oleh konsentrasi amonia dan oksigen.



$$(-r_A) = k (\text{NH}_3)^{0,36} (\text{O}_2)^{0,14} \quad (1.7)$$

(Sadykov *et al.*, 2000)

$-r_A$ = laju reaksi

k = konstanta laju reaksi, s^{-1}

(NH_3) = konsentrasi amonia, mol

(O_2) = konsentrasi oksigen, mol

2.6 Reaktor *Fixed Bed Multitube*

Reaktor *fixed bed multitube* dapat didefinisikan sebagai suatu tube silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, gas akan melewati tube dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. Reaktor *fixed bed multitube* adalah reaktor yang dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara pereaktan dengan partikel-partikel katalis. Reaktor *fixed bed multitube* biasanya digunakan untuk umpan pereaktan yang mempunyai viskositas kecil.

2.7 Metode *Runge-Kutta* Orde Empat

Ada beberapa tipe metode *Runge-Kutta* yang tergantung pada nilai n yang digunakan. Untuk $n = 4$, yang disebut metode *Runge Kutta* orde empat. Rumus metode *Runge-Kutta* orde empat adalah seperti persamaan (1.8) berikut:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (1.8)$$

dimana :

$$\begin{aligned} k_1 &= hf(x_n, y_n) \\ k_2 &= hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}\right) \\ k_3 &= hf\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}\right) \\ k_4 &= hf(x_n + h, y_n + k_3) \end{aligned} \quad (1.9)$$

(Hurol, 2013)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil perancangan reaktor *fixed bed multitube* menghasilkan diameter sebesar 2,132 m dan tinggi 8,798 m.
2. Jumlah *tube* berdasarkan hasil perancangan yakni 722 *tube*.
3. Volume reaktor berdasarkan hasil perancangan sebesar 30,306 m³.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan variasi kondisi operasi untuk mengetahui hasil rancangan reaktor *fixed bed multitube*.
2. Pastikan semua satuan sama dalam proses menghitung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. R. dan M. Boudart. 2012. *Catalysis: Science and Technology*. Berlin: Springer Science and Business Media.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Data Impor Asam Nitrat*. <https://www.bps.go.id>. 26 November 2018 (21:00).
- Brownell, L. E., & Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. 2005. *Chemical Engineering Design* (Fourth Edi). Hennai, India: Butterworth-Heinemann, Elvervier.
- Clarke, S. I. dan W. J. Mazzafrro. 2005. *Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Foust, O. J. 1972. *Sodium-NaK Eengineering Handbook*. (G. & Breach, Ed.) (Foust, O., Vol. I). New York: Science Plubishers, Inc.
- Hurol, Simrui. 2013. *Numerical Methods for Solving Systems of Ordinary Differential Equations*. Institute of Graduate Studies and Research
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer* (Internatio). Japan: McGraw-Hill Book Company.
- Martin, M. M. 2016. *Industrial Chemical Process Analysis and Design*. Salamanca: Elsevier Ltd.
- Maurer, R. 2006. *Method For Producing Nitric Acid*. Germany: United States Patent.
- Ostwald, W. 1907. *Process of Manufacturing Nitric Acid*. Germany: United States Patent.
- Patel, N. K. 2016. *Module 4: Nitric Acid*. India: NPTEL.
- Perry, R.H. dan D.W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook, 7th edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Sadykov, V., Isupova, L. V, Zolotarskii, I. A., Bobrova, L., Noskov, A. S., Parmon, V., Lunin, V. 2000. Oxide catalysts for ammonia oxidation in nitric acid production: Properties and perspectives. *Applied Catalysis A: General*, 204(1), 59–87.
- Smith, J. M., H. C. Van Ness. dan M.M. Abbot. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Thyssenkrup. 2015. www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com. 2 Desember 2018 (22.00).

Ullmann, F. 2012. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6th Edition. USA: Wiley-VCH VerlagGmbH dan Co. KGaA, Weinhem.

White, F. M. 2011. *Fluid Mechanics. Fluid Mechanics* (Seventh Ed). New York: McGraw-Hill Book Company.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties*. New York: McGraw-Hill Book Company.