

Pra Desain Pabrik Pembuatan Pupuk Urea dari Gas Alam Menggunakan Metode *Snamprogetti* dengan Kapasitas 626.000 Ton/tahun

Claudia Stanila Koesnadi, Farhan Muhammad, Raden Darmawan
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)
e-mail: rdarmawan@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Kebutuhan pupuk di Indonesia cukup besar karena pupuk merupakan salah satu hal yang penting dalam mendukung hasil dan mutu tanaman. Salah satu jenis pupuk yang banyak digunakan yaitu pupuk urea dengan jumlah konsumsi pada tahun 2019 mencapai 5,425 juta ton berdasarkan data Asosiasi Pupuk Indonesia (APPI) [1]. Pembuatan pupuk urea menggunakan bahan baku gas alam yang diproses terlebih dahulu menjadi ammonia lalu masuk ke dalam proses produksi urea. Dalam proses produksi ammonia menggunakan teknologi *Haldor Topsoe* dengan pertimbangan efisiensi energi yang digunakan karena beroperasi pada tekanan lebih rendah dibandingkan dengan teknologi lain. Sedangkan proses produksi urea menggunakan teknologi *Snamprogetti* yang mempunyai konversi 98% dan menggunakan ammonia berlebih untuk menghindari korosi pada alat. Pabrik urea direncanakan didirikan di Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah, Indonesia. Pemilihan lokasi ini berdasarkan tujuh faktor pembandingan meliputi pemasaran dan aksesibilitas transportasi, tenaga kerja, sumber energi dan air, ketersediaan bahan baku, iklim dan topografi, tata ruang wilayah serta peraturan dan hukum. Dengan didirikan pabrik urea ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pupuk dalam negeri dan ekspor. Selain itu, dapat membantu mengembangkan kawasan industri yang terdapat di Kabupaten Banggai sesuai dengan rencana pembangunan Provinsi Sulawesi Tengah tahun 2018 – 2038. Pabrik direncanakan dibangun pada tahun 2021 dan mulai beroperasi pada tahun 2023 dengan laju inflasi 1,68% pertahun dengan modal sendiri sebesar Rp 2.359.977.124.524,70 dan modal pinjaman Rp 3.539.965.686.787,05 dengan bunga 8,70%. *Internal rate of return* pabrik adalah 30,12% dengan *pay out time* selama 6,2 tahun dan *break event point* pada kapasitas produksi 19%. Kenaikan harga bahan baku dapat ditoleransi hingga 152,4% sedangkan untuk harga produk penurunan hingga 35,40%. Selain itu kenaikan TCI dapat ditoleransi hingga 88,42%. Kapasitas produksi urea sebesar 626.000 ton/tahun.

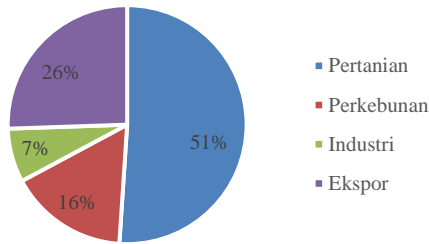
Kata Kunci—Ammonia, Gas Alam, *Haldor Topsoe*, *Snamprogetti*, Urea.

I. PENDAHULUAN

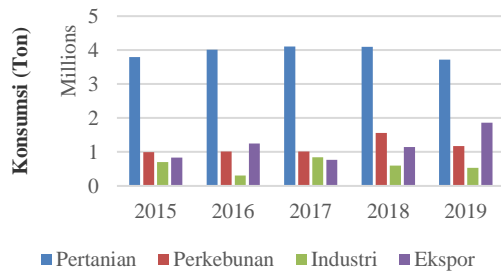
INDONESIA merupakan salah satu negara yang terletak di sekitar garis khatulistiwa 6° Lintang Utara - 11° Lintang Selatan dan 95° Bujur Timur - 141° Bujur Barat yang menjadikan Indonesia memiliki iklim tropis. Letak astronomis ini menguntungkan bagi Indonesia dalam sektor pertanian karena wilayah Indonesia memiliki iklim tropis sehingga mendapatkan penyinaran matahari secara penuh sepanjang tahun yang dapat menjadikan peluang bagi Indonesia untuk memperkuat ketahanan pangan didukung dengan perkembangan dan penerapan teknologi. Selain itu keadaan tersebut sangat mendukung komoditas pangan strategis dan komoditas pertanian tropika yang dapat

berkembang di Indonesia. Menurut data dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, pada tahun 2018 luas lahan pertanian bukan sawah 23.724.917 Ha dan luas lahan sawah adalah 7.105.145 Ha dari total luas wilayah daratan 1.919.443 km² [2]. Data ini menunjukkan 16% daratan Indonesia digunakan sebagai lahan pertanian. Dalam sektor pertanian, pupuk merupakan salah satu hal yang penting dalam mendukung hasil dan mutu tanaman. Pemberian pupuk pada tanaman bertujuan untuk memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi pada tanah. Ada enam jenis unsur makro yang diperlukan oleh tanaman antara lain nitrogen (N), fosfat (P), kalium (K), belerang (S), kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg). Dari keenam unsur makro tersebut, tiga unsur yang harus terdapat di dalam tanah yaitu nitrogen, fosfat, dan kalium. Secara umum, pupuk dibagi menjadi dua jenis yaitu pupuk anorganik dan pupuk organik [3]. Belerang, kalsium, dan magnesium merupakan unsur hara makro sekunder sedangkan nitrogen, fosfor, dan kalium merupakan unsur hara makro primer [4]. Pupuk anorganik merupakan pupuk yang diproduksi oleh pabrik dengan mereaksikan bahan-bahan kimia (anorganik) dengan kadar hara yang tinggi. Berdasarkan kandungan hara yang terdapat dalam pupuk, pupuk anorganik dibagi menjadi dua jenis yaitu pupuk tunggal (pupuk nitrogen, pupuk fosfor, pupuk kalium, dan pupuk magnesium) dan pupuk majemuk (pupuk NP, pupuk NK, pupuk PK, dan pupuk NPK) [3]. Dalam Peraturan Menteri Pertanian No. 01 Tahun 2019 tentang pendaftaran pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenahan tanah, pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba yang bermanfaat meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah, serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi [5]. Bahan dalam pupuk organik dapat diperoleh dari kompos, pupuk hijau, pupuk kandang, sisa panen, limbah ternak, limbah industri yang menggunakan bahan pertanian, dan limbah kota [6].

Konsumsi pupuk urea pada tahun 2019 sebesar 5,425 juta ton, sedangkan konsumsi NPK naik 7,1% dari 2,8 juta ton menjadi 3 juta ton [1]. Ekspor pupuk urea dari Indonesia sepanjang tahun 2019 naik 63% dari 1,141 juta ton menjadi 1,86 juta ton [1]. Dalam sektor pertanian, konsumsi pupuk sepanjang tahun 2019 sebesar 3,719 juta ton untuk pupuk urea, 360 ribu ton untuk pupuk SP-36, dan pupuk ZA sebesar 443 ribu ton [1]. Dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor 47 Tahun 2018 tertuang bahwa jumlah alokasi pupuk subsidi pada tahun 2019 sebesar 8,87 juta ton dengan rincian urea sebanyak 3,82 juta ton, SP-36 sebesar 779.000 ton, ZA sebesar 996.000 ton, NPK sebesar 2,326 juta ton,



Gambar 1. Konsumsi dan ekspor pupuk urea tahun 2019.



Gambar 2. Konsumsi pupuk urea setiap sektor tahun 2015 – 2019.

dan organik sebesar 948.000 ton [7]. Pada Gambar 1. menunjukkan bahwa konsumsi pupuk urea paling besar pada sektor pertanian sebesar 51% dan 26% merupakan persentase urea yang diekspor. Konsumsi pupuk urea meningkat setiap tahun karena jumlah ekspor pupuk setiap tahun meningkat. Sedangkan konsumsi pupuk urea dalam sektor pertanian dan perkebunan menurun. Pada Gambar 2. disajikan jumlah konsumsi pupuk urea pada tahun 2015 – 2019 setiap sektor.

Pada proses produksi ammonia pada bagian pemisahan impurities gas alam yang akan digunakan dari hidrogen sulfida (H₂S), menghasilkan *byproduct* yaitu *Zinc Sulfide* (ZnS) yang merupakan senyawa organik. Bubuk ZnS dapat dimanfaatkan sebagai fotokatalis yang efisien untuk menghasilkan gas hidrogen dari air dengan bantuan cahaya. Selain itu, ZnS dapat dimanfaatkan sebagai bahan optik infrared [8].

II. KATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Bahan baku utama yang digunakan untuk pembuatan pupuk urea adalah gas alam yang menghasilkan hidrogen (H), nitrogen (N) dan karbon dioksida (CO₂). Gas alam yang di dalamnya masih mengandung C₃H₈ (propana), C₄H₁₀ (butana) dan C₅H₁₂ (pentana) atau yang lebih berat sering disebut dengan gas alam basah (*wet natural gas*). Sedangkan gas alam yang sudah dipisahkan dari C₃H₈ (propana), C₄H₁₀ (butana), dan C₅H₁₂ (pentana), sehingga hanya terdapat CH₄ (metana) dan C₂H₆ (etana) saja, disebut dengan gas alam kering (*dry natural gas*) [9]. Cadangan gas bumi per 1 Januari 2018 sebesar 135,55 triliun kaki kubik (*Trillion Standard Cubic Feet/ TSCF*) yang terdiri dari cadangan terbukti sebesar 99,06 TSCF dan cadangan potensial sebesar 39,49 TSCF (terdapat “cadangan mungkin” sebesar 21,26 TSCF dan “cadangan harapan” sebesar 18,23 TSCF) [10].

Tabel 1.

Perkiraan pasokan gas bumi Indonesia setiap region dalam satuan MMSCFD (*Million Metric Standard Cubic Feet per Day*)

Region	Tahun		
	2018	2022	2027
Region I (Aceh dan Sumatera Utara)	303,74	440,26	321,88
Region II (Sumatera bagian tengah, Sumatera bagian selatan, Kepulauan Riau, dan Jawa bagian barat)	2.832,66	2.714,02	2.433,2
Region III (Jawa bagian tengah)	79,98	52,5	-
Region IV (Jawa bagian timur)	628,66	862,85	508,3
Region V (Wilayah Kalimantan)	1.994,14	2.207,01	2.087,11
Region VI (Wilayah Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua)	1.613,49	2.384,44	2.697,72

Tabel 2. Spesifikasi gas alam

Parameter	Spesifikasi
Methane (mol%)	84,07
Ethane (mol%)	5,86
Propane (mol%)	2,2
Buthane (mol%)	0,93
Pentane (mol%)	0,52
Hexane (mol%)	0,28
Heptane (mol%)	0,76
Nitrogen (mol%)	3,45
Hidrogen Sulphide (mol%)	0,63
Sulfur (mol%)	0,002
CO ₂ (mol%)	1,3

Tabel 3. Standard pupuk urea SNI 2801:2010

Parameter	Ketentuan	
	Butiran (prill)	Gelintiran (granular)
Kadar nitrogen (%)	minimal 46	minimal 46
Kadar air (%)	maksimal 0,5	maksimal 0,5
Kadar biuret (%)	maksimal 1,2	maksimal 1,5
Ukuran:		
a) 1 – 3,35 mm (%)	minimal 90	-
b) 2 – 4,75 mm (%)	-	minimal 90

Tabel 1. menunjukkan perkiraan pasokan gas bumi setiap region pada tahun 2018, 2022, dan 2027.

Gas alam yang digunakan dalam proses pembuatan pupuk urea memiliki spesifikasi yang tersaji pada Tabel 2. dan spesifikasi pupuk urea yang diproduksi sesuai dengan SNI 2801:2010 terdapat pada Tabel 3.

B. Kapasitas

Produksi pupuk di Indonesia mengalami peningkatan untuk memenuhi pasar dalam negeri maupun luar negeri. Di Indonesia, konsumen pupuk terbanyak adalah dari sektor pertanian. Salah satu jenis pupuk yang banyak digunakan adalah pupuk urea. Pemenuhan kebutuhan pupuk urea di Indonesia telah terpenuhi sehingga Indonesia tidak mengimpor pupuk urea. Selain dipasarkan di dalam negeri, pupuk urea di ekspor ke beberapa negara seperti negara yang terletak di kawasan Asia Tenggara. Data yang dibutuhkan dalam analisis *supply and demand* pupuk urea di Indonesia terdapat pada Tabel 4.

Dalam upaya pemenuhan kebutuhan konsumsi dan ekspor pupuk urea di Indonesia, kami menetapkan kapasitas pabrik urea ini sebesar 626.000 ton per tahun dengan pertimbangan untuk pemenuhan kebutuhan sebesar 60%. Penentuan

kapasitas pabrik ini didasarkan pada estimasi konsumsi, ekspor, dan produksi pada tahun 2024, sehingga pabrik ini dapat memenuhi konsumsi dan ekspor pupuk urea.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Penentuan lokasi suatu pabrik memiliki pengaruh yang kuat dalam keberhasilan industri. Pada umumnya, lokasi yang akan dipilih memiliki keuntungan jangka panjang yang berdampak positif untuk perusahaan dan lingkungan sekitar pabrik, serta memiliki peluang perluasan atau penambahan kapasitas pabrik. Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik pupuk urea, telah dilakukan pertimbangan tujuh faktor pembandingan, antara lain; ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran dan aksesibilitas transportasi, sumber energi listrik dan air, sumber tenaga kerja, hukum dan peraturan, iklim dan topografi dan tata ruang wilayah. Dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), rencana pendirian pabrik pupuk urea berada di Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah. Upah minimum Kabupaten Banggai pada tahun 2020 sebesar Rp 2.343.970 [11]. Selain itu, Sulawesi Tengah memiliki Angka Partisipasi Murni (APM) pada jenjang pendidikan cukup tinggi tersaji pada Tabel 5.

Dalam kelangsungan suatu pabrik, ketersediaan utilitas merupakan salah satu hal yang penting. Sulawesi Tengah memiliki kapasitas listrik terpasang sebesar 1.687,64 megawatt (MW) dengan rincian jenis pembangkit pada Tabel 6. yang menunjukkan bahwa listrik yang tersedia di Sulawesi Tengah cukup besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan industri [12]. Air yang digunakan di pabrik dapat berasal dari Sungai Singkoyo dengan debit 3,8 - 73,6 m³/detik dan tinggi aliran 950,8 mm [13].

III. URAIAN PROSES

Proses pembuatan urea dari gas alam dimulai dengan proses produksi ammonia (Gambar 3) terlebih dahulu untuk menghasilkan ammonia yang digunakan dalam proses produksi urea (Gambar 4).

Secara garis besar pembuatan ammonia dengan menggunakan teknologi *Haldor Topsøe* terbagi menjadi enam proses yaitu (Gambar 5):

1) Desulfurisasi

Proses desulfurisasi digunakan untuk memurnikan gas alam dari kandungan sulfur organik (R-S) menjadi sulfur anorganik (H₂S) yang selanjutnya akan diabsorb oleh ZnO. Pada tahap ini kadar sulfur ditekan hingga memiliki kadar 0,05 ppm. Terdapat 2 unit dalam tahap desulfurisasi yaitu *hydrogenerator* dan sulfur absorber. *Hydrogenerator* digunakan untuk mengubah sulfur organik menjadi H₂S dengan menggunakan katalis *cobalt-molybdenum* (CoMo). Sebelum masuk ke *hydrogenerator*, *natural gas* mengalami proses *preheating* hingga temperaturnya 330 - 350°C dan memiliki tekanan 41 - 44 bar. Di *hydrogenerator*, sulfur dikontakkan dengan H₂ yang bisa didapatkan dari *discharge syngas compressor* atau unit HRU (*Hydrogen Recovery Unit*). Selanjutnya gas alam yang keluar dari *hydrogenerator* kemudian dialirkan ke sulfur absorber untuk proses absorpsi H₂S dengan menggunakan katalis ZnO. Katalis ini beroperasi pada temperatur 330 - 400°C. Reaksi pada sulfur absorber adalah reaksi eksotermis pada tekanan

Tabel 4.
Analisis supply and demand pupuk urea di Indonesia

Tahun	Produksi (ton/tahun)	Konsumsi (ton/tahun)	Ekspor (ton/tahun)
2014	6.742.366	5.589.484	1.107.880
2015	6.917.372	5.490.515	831.894
2016	6.462.938	5.329.717	1.253.200
2017	6.838.063	5.970.397	766.864
2018	7.444.697	6.265.196	1.141.720

Tabel 5.
APM pada jenjang pendidikan Provinsi Sulawesi Tengah 2018/2019

Jenjang Pendidikan	APM (%)
SD	93,17
SMP	73,82
SM	64,66
PT (19 – 23)	25,16
PT (19 – 24)	22,84

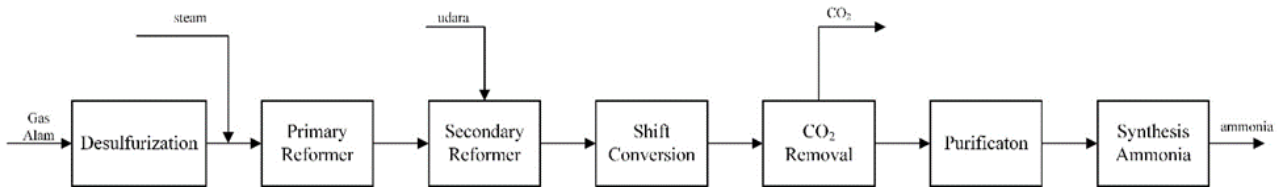
Tabel 6.
Kapasitas listrik terpasang di Provinsi Sulawesi Tengah

Jenis Pembangkit	Kapasitas (MW)
PLTU	1.198,10
PLTU MT	-
PLTU-M/G	-
PLTG	66,00
PLTGU	-
PLTMG	-
PLTD	201,63
PLTA	195,00
PLTM	26,70
PLTMH	0,02
PLTB	-
PLTBg	-
PLTBm	-
PLTP	-
PLTS	0,19
PLTSa	-
PLT Hybrid	-
Total	1.687,64

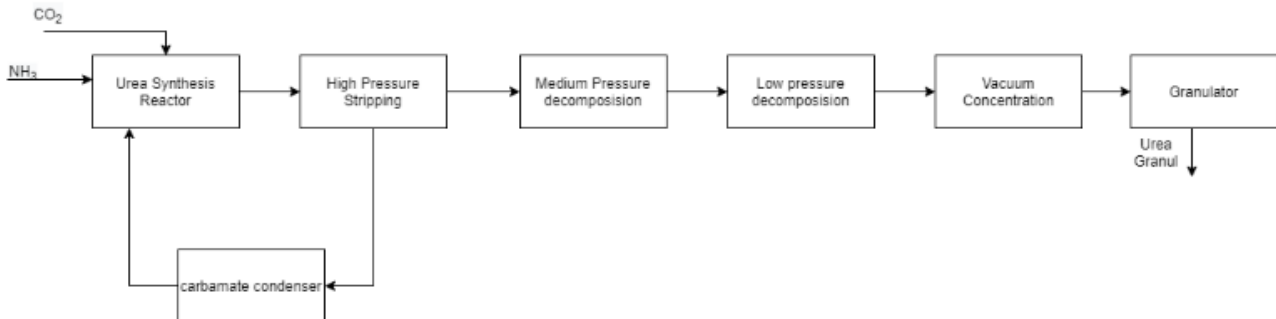
40 – 42 bar. Konversi yang terjadi pada tahap ini antara 98 – 99%.

2) Reforming

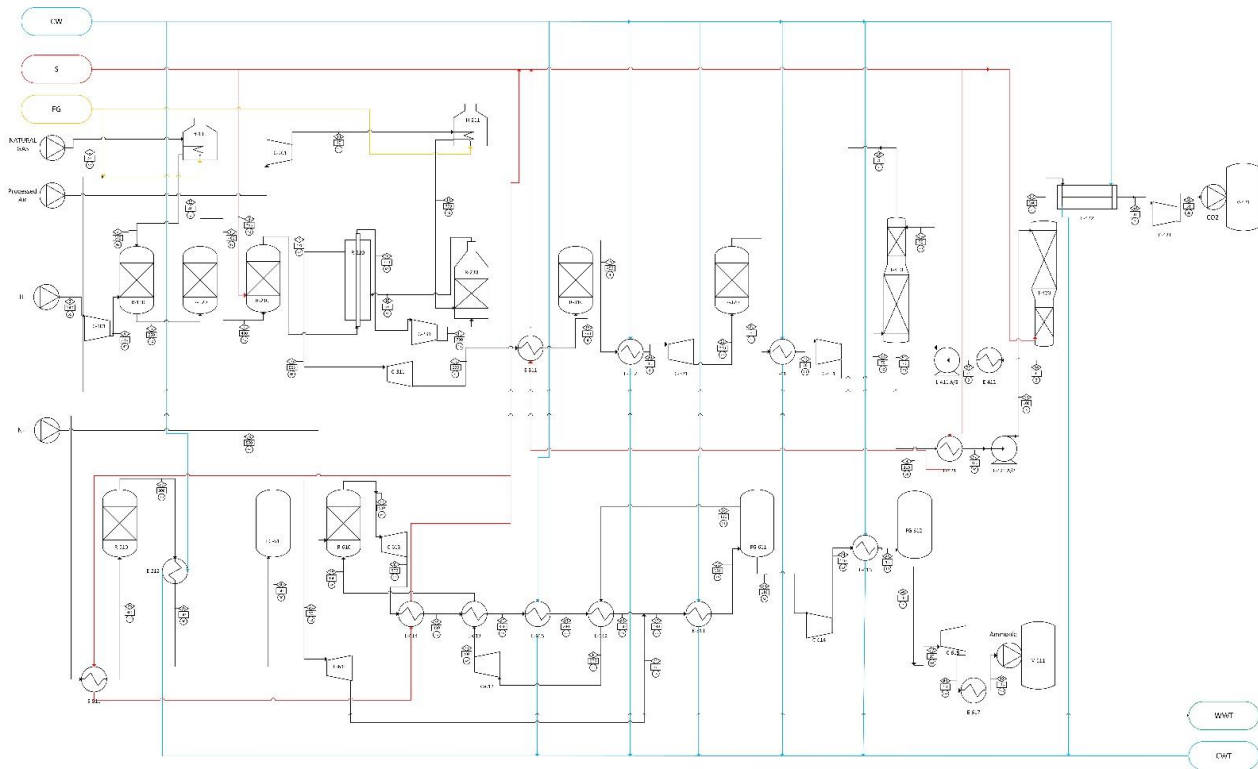
Tahap awal pembuatan ammonia yang digunakan pada proses pembuatan urea adalah reforming. Tahapan ini bertujuan untuk membentuk *synthesis gas* yang terdiri dari CO dan H₂ dari gas bumi. Proses *reforming* yang digunakan terbagi menjadi 2 unit yaitu *primary reformer* dan *secondary reformer*. Di *primary reformer*, campuran *natural gas* dan *steam* dipanaskan terlebih dahulu di *preheater* hingga suhu campuran mencapai 400 - 450°C sebelum masuk ke *prereformer*. Rasio jumlah *steam* dengan total karbon (S/C) adalah 0,4 – 3 untuk menghindari *carbon formation*. Kemudian campuran ini masuk ke *heat exchanger reformer*. Rasio jumlah *steam* dengan total karbon (S/C) adalah 0,4 – 3 untuk menghindari *carbon formation*. Kemudian campuran ini masuk ke *heat exchanger reformer*. Reaksi yang terjadi pada *steam reforming* adalah endotermis dimana reaksi ini memerlukan panas dalam proses reaksinya. Suhu keluaran pada *steam reforming* sekitar 600 – 850°C namun lebih disarankan pada suhu 700 – 750°C. Karena reaksi yang terjadi merupakan endotermis, sehingga perlu pemanas yang berasal dari aliran keluar ATR (*Auto Thermal Reformer*). *Reformer* yang digunakan pada *primary reformer* adalah *heat exchanger reformer* dan menggunakan katalis nikel. Tekanan operasi pada *primary reformer* adalah 25 – 45 bar.



Gambar 3. Process block diagram pembuatan ammonia.



Gambar 4. Process block diagram pembuatan urea.

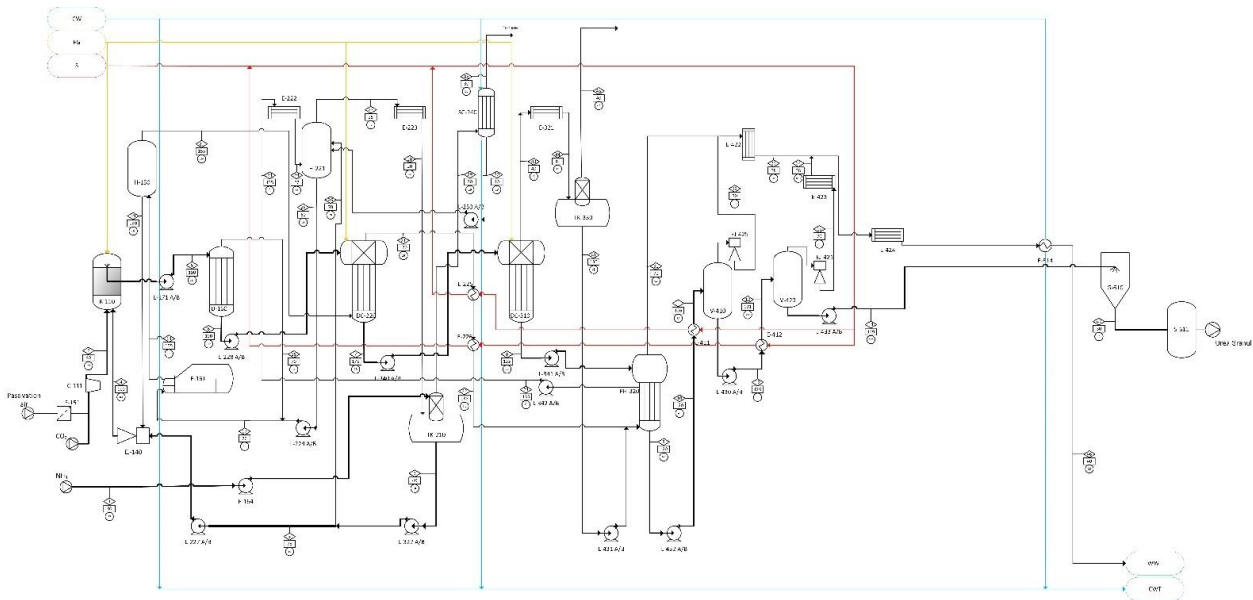


Gambar 5. Process flow diagram pra desain pabrik pembuatan ammonia.

Reforming gas dari primary reformer selanjutnya masuk ke secondary reformer. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi *partial oxidation* yang merupakan reaksi eksotermis. Pada secondary reformer, reaktor yang digunakan yaitu *autothermal reformer* (ATR). Pada proses ini, ditambahkan 75 – 85 vol% oksigen untuk bereaksi membentuk *synthesis gas*. Suhu keluaran dari ATR adalah 950 - 1100°C dan tekanan 20 – 100 bar dengan katalis campuran nikel dan ruthenium berbentuk silinder yang bekerja pada suhu 800 – 1600°C. *Synthesis gas* keluaran dari ATR didinginkan dengan menggunakan *heat exchanger reformer* yang dialirkan melalui *shell* sehingga suhu keluaran *synthesis gas* 450 – 800 °C. Metana yang tersisa dari reaksi ini adalah 0,3 – 1 vol% sehingga konversi yang terjadi sekitar 90%.

3) Shift Conversion

Pada tahap *shift conversion*, gas CO dan H₂ yang telah terbentuk masuk ke *shift conversion* untuk mengubah gas CO menjadi CO₂ dan H₂. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis. Ada 2 tahapan *shift conversion* yaitu *high temperature shift* (HTS) and *low temperature shift* (LTS). HTS bekerja pada suhu 300 – 400°C dan tekanan 2,3 – 6,5 bar sehingga diperlukan pendinginan dengan *waste heat boiler* atau *heat exchanger*. Suhu keluaran dari HTS adalah 420 – 520°C dan rasio dari *steam* dan *synthesis gas* adalah 0,05 – 0,9. Katalis yang digunakan adalah *iron catalyst* bebas dari *chromium*. Pada tahap LTS, suhu reaktor adalah 200°C atau 20°C dibawah *dew point* gas dan tekanan pada



Gambar 6. *Process flow diagram* pra desain pabrik pembuatan urea.

reaktor sekitar 2,3 bar. Suhu keluaran dari LTS adalah 220 – 250°C dengan katalis *iron oxide chromium based*.

4) *CO₂ Removal*

CO₂ removal bertujuan untuk menghilangkan *CO₂* yang terdapat dalam *syngas* sebelum masuk ke tahap *synthesis ammonia*. Pada tahap *CO₂ removal*, gas *CO₂* diabsorb dengan cara proses absorpsi. Pada teknologi *Haldor Topsoe* digunakan proses *CO₂ removal* BASF dengan menggunakan MDEA (*N-methyldiethanolamine*) 35%, air 60% dan piperazine 5% dengan *rate* absorber lebih besar 3% dari *rate* gas serta kandungan *CO₂* sebesar 3% dari *rate*. Ada 2 bagian dalam tahap *CO₂ removal* yaitu absorpsi dan *stripping*. Pada bagian absorpsi digunakan *absorbing tower* dengan kondisi operasi 40 – 100°C dan tekanan 10 – 100 bar sehingga 75% *CO₂* terabsorb. Medium untuk absorpsi adalah *K₂CO₃*. *Stripping* digunakan untuk memisahkan *CO₂* dari larutan pengabsorb. Pada proses *stripping* diperlukan kondisi operasi dengan temperatur 90 – 130°C dan tekanan 1 – 3 bar.

5) *Purification*

Pada tahap *purification*, proses yang digunakan pada teknologi *Haldor Topsoe* adalah *methanation*. Tujuan pada tahap ini adalah untuk mengubah gas *CO* dan *CO₂* menjadi *CH₄* sehingga *syngas* yang akan masuk pada tahap *synthesis ammonia* mempunyai kadar *CO* dan *CO₂* yang rendah. Reaksi pada proses *methanation* merupakan reaksi eksotermis. *Methanation* dapat menggunakan katalis *alloy* nikel. Kondisi operasi pada proses *methanation* pada tekanan 20 – 80 bar dan pada suhu 200 – 400°C. Konversi yang didapatkan sebesar 95 – 100% dengan konsentrasi *CO* 0,5%. *CH₄* yang terbentuk kemudian ditreatment untuk menghilangkan *H₂O* dengan menggunakan *flash separator*.

6) *Synthesis Ammonia*

Synthesis ammonia merupakan tahapan utama dalam proses pembuatan ammonia. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis. Konversi yang terjadi pada reaktor 15 – 16% sehingga diperlukan *synthesis loop*. Kondisi operasi reaktor adalah 100 bar dan 500°C. Suhu masuk *syngas* ke reaktor adalah 360°C. *Synthesis loop* beroperasi pada

tekanan diatas 250 bar dengan menggunakan sistem *synthesis loop 3 nozzle design*. Katalis yang digunakan pada *converter* adalah katalis *iron oxide*. Sebelum masuk *converter* akan dinaikkan temperaturnya hingga 35°C dan dinaikkan tekanannya hingga 130 bar dan selanjutnya dipanaskan hingga suhu 360°C untuk masuk ke *converter*. Ammonia didinginkan dengan *chiller* hingga -5°C dan selanjutnya ammonia yang terdapat pada gas dipisahkan di separator. Selanjutnya, gas yang tidak terkondensasi di separator akan disirkulasikan ke *converter*. Produk ammonia selanjutnya dialirkan ke *storage* dengan menurunkan tekanan 0,03 bar dan menurunkan suhu hingga 33°C. Ammonia yang teruapkan dari *chiller* akan masuk ke *suction ammonia refrigerant compressor*.

Ammonia selanjutnya masuk ke dalam proses produksi urea. Uraian proses pembuatan urea dari ammonia sebagai berikut (Gambar 6).

1) *High Pressure Section*

High pressure section adalah tahap sintesa urea pada tekanan tinggi (158 kg/cm²G) dengan alat utama yaitu reaktor yang merupakan tempat terjadinya sintesa urea dari reaksi antara ammonia dan gas karbon dioksida. Ammonia (*NH₃*) dan karbon dioksida (*CO₂*) bereaksi membentuk *ammonium carbamate* (*NH₂COONH₄*), yang selanjutnya terhidrasi membentuk urea (*NH₂CONH₂*) dan air (*H₂O*).

Urea yang keluar dari reaktor memiliki konsentrasi 34% berat lalu dilanjut ke *stripper* yang merupakan tempat terjadinya dekomposisi sisa karbamat yang tidak bereaksi di reaktor. Keluaran urea memiliki konsentrasi 41% berat lalu *feed* yang keluar dari *stripper* dilanjut ke *decomposer* untuk permurnian urea.

2) *Medium Pressure Section*

Medium pressure section merupakan langkah pemurnian yang terjadi pada penguraian bertekanan sedang, yang memurnikan larutan urea menjadi 62% berat. Tekanan pada *medium decomposer* yaitu 17,8 kg/cm²G, lalu larutan tersebut dilanjutkan ke pemurnian bertekanan lebih rendah pada *low pressure section*.

3) *Low Pressure Section*

Larutan urea dengan konsentrasi 60 – 63% dari *medium pressure decomposer* diekspansikan ke tekanan 3,9 kg/cm²G dan dimasukkan ke *low pressure decomposer* bertipe *falling film* untuk mendekomposisi sisa karbamat menggunakan *saturated steam* yang bertekanan 3,5 kg/cm²G. Lalu dilanjutkan ke *preheater* sebagai pemanasan awal urea untuk mengurangi kadar air sehingga urea memiliki kadar 85% berat urea

4) *Vacuum Concentration Section*

Vacuum concentration section merupakan tahap pemekatan urea untuk menghasilkan larutan urea 98% berat yang dibutuhkan untuk pembuatan urea granul dengan menggunakan proses *vacuum*. Proses ini dilakukan dalam 2 tahap, yaitu evaporator yang pertama untuk memekatkan larutan urea sampai 95% dan evaporator yang kedua menaikkan konsentrasi larutan urea dari 95% menjadi 98% berat. Kondisi *vacuum* di 2 evaporator ini dikontrol oleh sistem *vacuum*. Kemudian dilanjut ke granulator sebagai tempat untuk membuat larutan urea menjadi granul.

5) *Granulation Unit*

Urea granul diproduksi dengan cara menyemprotkan cairan urea ke atas bibit (*seed*) yang terfluidisasi. Bibit ini bisa berupa kotoran hewan yang sudah kering. Proses penambahan ukuran partikel granul dicapai melalui 3 tahapan, yaitu:

a. Aglomerasi

Aglomerasi adalah pengikatan beberapa partikel menggunakan larutan yang berfungsi sebagai pengikat atau lem. Aglomerasi sering menghasilkan produk yang tidak homogen dan memiliki sifat mechanical yang kurang baik.

b. Pelapisan

Pelapisan adalah penambahan ukuran yang dicapai dengan membentuk lapisan sekitar bibit (*seed*), sehingga terbentuk struktur lapisan kulit bawang (*onion skin structure*). Proses pelapisan dilakukan dalam satu interval sedemikian rupa sehingga terjadi proses pembekuan (solidifikasi).

c. Akresi

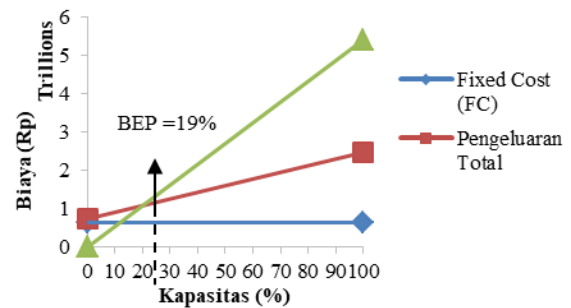
Akresi adalah pertumbuhan ukuran granul yang dicapai melalui proses penguapan dan solidifikasi kontinyu dari sebuah tetesan urea ke atas bibit. Proses ini menghasilkan struktur urea granul yang baik dan seragam.

IV. NERACA MASSA

Berdasarkan perhitungan *material balance* pada pabrik urea ini, gas alam yang dibutuhkan dalam proses produksi yaitu 50,934 ton/jam untuk menghasilkan 79,04 ton/hari urea. Waktu operasi pabrik dalam 1 tahun yaitu 330 hari.

V. ANALISA EKONOMI

Parameter analisa ekonomi merupakan salah satu parameter penting dalam pendirian suatu pabrik. Dari analisa ekonomi yang dilakukan dapat diketahui kelayakan pendirian suatu pabrik. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam kelayakan untuk mendirikan pabrik urea antara lain[14]:



Gambar 7. Break Even Point (BEP).

1. *Net Present Value* (NPV)
2. Laju pengembalian modal (*rate of return*).
3. Waktu pengembalian modal (*pay out time*).
4. Titik impas (*break event point*).
5. *Intenal rate of return* (IRR).

Untuk menentukan faktor-faktor tersebut terlebih dahulu perlu diketahui *total capital investment* dan *total production cost*. *Total capital investment* merupakan jumlah modal yang diperlukan untuk mendirikan suatu pabrik mulai dari awal hingga pabrik selesai dibangun dan siap beroperasi. *Total capital investment* yang didapatkan dari perhitungan yaitu Rp 5.014.951.389.614,99. *Total capital investment* dibagi atas dua bagian, yaitu *Fixed Capital Investment* (FCI) dan *Working Capital Investment* (WCI).

FCI atau bisa disebut *Capital Expenditure* (CAPEX) adalah suatu pembelanjaan yang dilakukan perusahaan dan mendefinisikannya sebagai pengalokasian dana yang dikeluarkan untuk diinvestasikan dalam bermacam-macam aset perusahaan [15]. Berdasarkan perhitungan ekonomi yang telah dilakukan, CAPEX pabrik urea yaitu Rp 5.889.942.811.311,76.

Total production cost (total biaya produksi) atau bisa juga disebut *Operational Expenditure* (OPEX) semua biaya yang dikeluarkan untuk kebutuhan operasional dalam jangka waktu tertentu [16]. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, OPEX pabrik urea untuk 1 tahun sebesar Rp 2.365.152.029.294,97.

Asumsi-asumsi yang digunakan yaitu bunga bank 8,70% dan inflasi per tahun 1,68% [17]. Pajak pendapatan didasarkan atas UU Nomor 36 Tahun 2008 tentang perubahan Keempat atas Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1983 pasal 17 ayat (1) yang menyatakan bahwa untuk penghasilan diatas Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah) akan dikenakan pajak sebesar 30% [18]. Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan NPV sebesar Rp 21.728.020.919.387,60 dengan *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR) 4,24%, IRR sebesar 32,10% dan *break event point* (BEP) sebesar 19% dimana *pay out time* (POT) selama 6,2 tahun. Dengan bunga 8,70% per tahun. Pabrik diperkirakan berdiri selama 20 tahun dengan lama waktu konstruksi selama 3 tahun. Operasi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Hasil penjualan dengan 100% kapasitas produksi sebesar Rp 5.418.497.476.041,60.

Selain mengetahui NPV, IRR, POT, dan BEP (Gambar 7), dilakukan analisa sensitivitas IRR. Analisis sensitivitas biasanya diaplikasikan pada permasalahan yang mengandung satu atau lebih faktor ketidakpastian karena nilai-nilai parameter dalam studi ekonomi teknik pada umumnya diestimasikan besarnya sehingga nilai-nilai

tersebut jelas tidak akan lepas dari faktor kesalahan. Parameter tersebut dapat bernilai lebih besar atau lebih kecil dari hasil estimasi yang diperoleh atau berubah pada saat tertentu yang dapat mengakibatkan perubahan hasil. Oleh karena itu, analisis sensitivitas ini dinilai perlu dilakukan. Faktor yang biasanya berubah dan perubahannya bisa mempengaruhi keputusan dalam studi ekonomi teknik adalah ongkos investasi, aliran kas nilai sisa, tingkat bunga, tingkat pajak, dan umur investasi [19].

Analisis sensitivitas terhadap IRR dilakukan dengan membandingkan tiga parameter antara lain harga bahan baku, harga produk, dan *Total Capital Investment* (TCI). Dengan melihat dari persen perubahan harga terhadap IRR, diperoleh perubahan harga terhadap bahan baku yang dapat ditoleransi hingga yaitu hingga kenaikan kurang dari 152,40% agar nilai IRR masih lebih besar dari bunga bank 8,70%. Untuk harga produk, penurunan harga dapat ditoleransi tidak sampai 35,40% sedangkan untuk TCI, kenaikan harga dapat ditoleransi kurang dari 88,42%.

VI. KESIMPULAN

Pabrik urea dari gas alam dengan kapasitas 626.000 ton/tahun dengan kebutuhan bahan baku yang berupa gas alam sebesar 50,934 ton/jam dan pembangunan pabrik direncanakan di Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah dan beroperasi pada tahun 2024 dengan 2 unit produksi yaitu unit produksi ammonia dan unit produksi urea. Pabrik beroperasi *continue* 24 jam selama 330 hari/tahun. Estimasi umur pabrik dan waktu pengembalian modal selama 20 tahun didapatkan *Net Present Value* sebesar Rp 21.728.020.919.387,60, *Internal Rate of Return* sebesar 30,12% *pay out time* selama 6,2 tahun dan *break event point* sebesar 19% kapasitas. Sensitivitas terhadap IRR menggunakan tiga parameter dengan hasil perubahan harga bahan baku dapat ditoleransi hingga kenaikan sebesar 152,4%, harga produk dapat ditoleransi hingga penurunan sebesar 35,40%, dan TCI dapat ditoleransi hingga kenaikan sebesar 88,42%. Maka dengan pertimbangan tersebut, pabrik ini layak untuk didirikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Pengolahan Limbah Industri dan Biomassa Teknik Kimia

ITS atas bantuan dan saran yang telah diberikan selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia, "Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia," 2020, Jakarta : Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia, [Online], Available : <https://www.appi.or.id/>.
- [2] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *Statistik Lahan Pertanian Tahun 2014-2018*. Jakarta: usat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian, 2019.
- [3] P. Lingga dan Marsono, *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Jakarta: Penebar Swadaya, 2013.
- [4] Balai Penelitian Kementerian Pertanian Indonesia, "Balai Penelitian Tanah BALITBANGTAN-Kementerian Pertanian," 2018. Jakarta : Balitbangtan Kementan. [Online], Available : <http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/component/phocadownload/category/1-temu-teknis-uji-profisiensi?download=8:syarat-mutu-pupuk-an-organik-dan-organik>.
- [5] Menteri Pertanian Indonesia, *Peraturan Menteri Pertanian Nomor 1 Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2019.
- [6] R. D. M. Simanungkalit dan D. A. Suriadikarta, *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, 2006.
- [7] Menteri Pertanian Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Pertanian Nomor 47 Tahun 2018*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2018.
- [8] Kementerian Keuangan Direktorat Jenderal Bea dan Cukai Indonesia Customs Laboratory, "Kementerian Keuangan Direktorat Jenderal Bea dan Cukai," 2016. [Online]. Available : <https://www.beacukai.go.id/>.
- [9] M. Monica, *Modul Guru Pembelajar Paket Keahlian Teknik Produksi Minyak dan Gas*. Medan : Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, 2016.
- [10] Kementerian ESDM Republik Indonesia, *Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027*. Jakarta : Kementerian ESDM Republik Indonesia , 2018.
- [11] Pemerintah Provinsi Sulawesi Tengah, *Keputusan Gubernur Sulawesi Tengah Nomor 561/489/DIS.NAKERTRANS-G.ST/2019 tentang Upah Minimum Kabupaten Banggai Tahun 2020*. Palu: Pemerintah Provinsi Sulawesi Tengah, 2019.
- [12] D. J. Ketenagalistrikan, *Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2018*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan, 2018.
- [13] Badan Pusat Statistik, "Badan Pusat Statistik," 2017. [Online], Available : <https://bps.go.id/>.
- [14] Kusnarjo, *Ekonomi Teknik*. Surabaya: ITS Press, 2010.
- [15] B. Riyanto, *Dasar-dasar Pembelajaran Perusahaan*. Yogyakarta: BPFE, 2010.
- [16] Desy Agung Rachmawaty, "Desain Konsep Terminal Penerima LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) DI PELABUHAN CIGADING BANTEN," INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER, 2018.
- [17] Bank Indonesia, "Bank Indonesia," 2021. [Online], Available : <https://www.bi.go.id/>. [Diakses 12 Juni 2021].
- [18] P. R. Indonesia, *Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2008 Tentang Perubahan Keempat Atas Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1983 Tentang Pajak Penghasilan*. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2008.
- [19] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik*, Edisi Kedu. Surabaya: Guna Widya, 2009.