

Desain Pabrik *Synthetic Gas (Syngas)* dari Gasifikasi Batu Bara Kualitas Rendah sebagai Pasokan Gas PT. Pupuk Sriwidjaja

Toto Iswanto, Muhammad Rifa'i, Yeni Rahmawati, Susianto

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: muhammad.rifai27@gmail.com, rifqah_18des@chem-eng.its.ac.id

Abstrak — Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2013, cadangan gas bumi Indonesia saat ini sebesar 170 TSCF dan akan habis dalam kurun waktu 59 tahun, dengan estimasi tidak ada peningkatan atau penurunan produksi. Di lain pihak, industri-industri kimia di Indonesia, semisal industri pupuk, sangat mengandalkan pasokan gas alam sebagai bahan baku pupuk maupun sumber energi. Permasalahan utama yang dihadapi industri pupuk dewasa ini adalah kurangnya pasokan gas alam untuk proses produksi. Di PT Pupuk Sriwidjaja misalnya, kebutuhan gas alam rata-rata untuk proses produksi amonia dan urea mencapai 225 MMSCFD. Namun, pasokan gas dari Pertamina selalu kurang dari jumlah tersebut. Karena selalu berulang, maka hal ini akan mengganggu kinerja PT Pupuk Sriwidjaja sebagai garda terdepan pertahanan pangan nasional bersama petani. Salah satu jenis sumber daya alam yang potensial mengganti dan atau mensubstitusi pemakaian gas alam adalah *Synthetic Gas (Syngas)*. *Syngas* merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metana, amonia, dan urea. *Syngas* dapat diperoleh dari proses gasifikasi batu bara dimana batu bara diubah dari bentuk padat menjadi gas. Batu bara yang merupakan bahan baku pembuatan *syngas* jumlahnya sangat melimpah di Indonesia. Menurut data dari Kementerian ESDM tahun 2011, total sumber daya batu bara di Indonesia diperkirakan 119,4 miliar ton, dimana 48%-nya terletak di Sumatera Selatan dan 70% deposit batu bara di Sumatera Selatan tersebut adalah batu bara muda berkualitas rendah. Deposit batu bara terbesar di Sumatera Selatan terletak di Kab. Muara Enim yang letaknya tidak terlalu jauh dengan PT Pupuk Sriwidjaja. Ditambah lagi dengan adanya PT Bukit Asam sebagai produsen terbesar batu bara di Kab. Muara Enim tentu akan mempermudah pasokan batu bara sebagai bahan baku pabrik. Oleh karena itu, pabrik akan didirikan di Tanjung Enim, Kab. Muara Enim, Sumatera Selatan. Pabrik akan didirikan tahun 2017 dan siap beroperasi tahun 2019. Pabrik yang didirikan diharapkan mampu mensubstitusi 40% kebutuhan gas alam PT Pupuk Sriwidjaja sebesar 88 MMSCFD atau sekitar 29.000 MMSCF per tahun. Proses pembuatan *syngas* dari batu bara kualitas rendah terdiri dari tiga proses utama, yaitu persiapan batu bara, gasifikasi batu bara, dan pemurnian gas hasil gasifikasi. Dari analisa perhitungan ekonomi diperoleh *Total Cost Investment (TCI)* sebesar 121.170.377,3USD, *Internal Rate of Return (IRR)* sebesar 27,48%, *Pay Out Time (POT)* selama 3,47 tahun, dan *Break Event Point (BEP)* sebesar 45,05%.

Kata Kunci — batu bara, gasifikasi, gas alam, synthetic gas

I. PENDAHULUAN

Saat ini diperkirakan dunia akan mengalami 3 krisis besar, yakni krisis pangan, air, dan energi. Hal ini disebabkan karena semakin terbatasnya sumber daya alam yang tersedia sementara pertambahan jumlah penduduk dunia meningkat pesat dari waktu ke waktu. Hal ini praktis akan mempengaruhi ketahanan nasional dari tiap negara. Tidak luput dari itu, Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki sumber dan cadangan energi yang melimpah akan terkena imbasnya. Saat ini Indonesia memiliki ketergantungan pada sumber energi fosil berupa minyak bumi (42,99%), gas bumi (18,48%), dan batu bara (34,47%). Alternatif dalam pemanfaatan energi baru terbarukan hanya hadir dalam bentuk konversi (4,07%), belum dapat mengganti seutuhnya pemanfaatan energi di Indonesia. Cadangan gas bumi di Indonesia saat ini sebesar 170 TSCF

dan akan habis dalam kurun waktu 59 tahun, dengan estimasi tidak ada peningkatan atau penurunan produksi [13].

Dengan sisa cadangan gas alam yang terbatas tersebut, rupanya tidak menurunkan ketergantungan Indonesia terhadap minyak bumi dan gas alam sehingga membuat harga gas alam semakin mahal. Padahal industri-industri kimia di Indonesia, semisal industri pupuk, sangat mengandalkan pasokan gas alam sebagai bahan baku pupuk maupun sumber energi. Oleh karena itu, perlu dicari sumber energi lain yang potensial sebagai pengganti yang nantinya dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap minyak bumi dan gas alam.

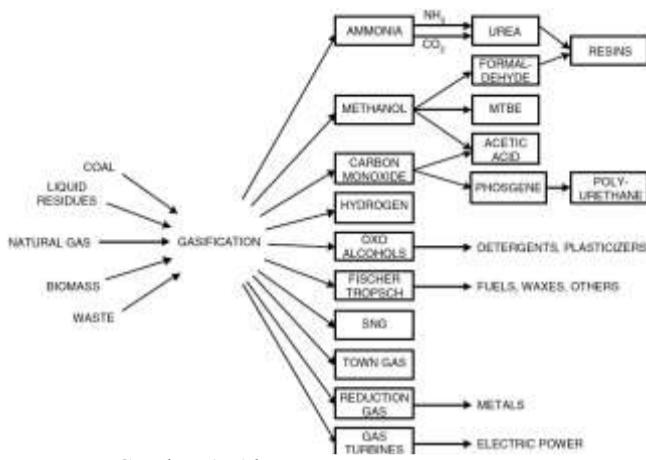
Permasalahan utama yang dihadapi industri pupuk dewasa ini adalah kurangnya pasokan gas alam untuk proses produksi. Di PT Pupuk Sriwidjaja misalnya, kebutuhan gas alam rata-rata untuk proses produksi amonia dan urea mencapai 225 MMSCFD. Namun, pasokan gas dari Pertamina selalu kurang dari jumlah tersebut. Karena selalu berulang, maka hal ini akan mengganggu kinerja PT Pusri sebagai salah satu garda terdepan pertahanan pangan nasional bersama petani. Oleh karena itu perlu dicari sumber daya lain yang mampu mengganti atau mensubstitusi gas alam.

Salah satu jenis sumber daya alam yang potensial mengganti dan atau mensubstitusi pemakaian gas alam adalah *Synthetic Gas (Syngas)* yang dapat diperoleh dari proses gasifikasi batu bara yang sumber dayanya masih melimpah. Total sumber daya batu bara di Indonesia diperkirakan 105 miliar ton, dimana cadangan batu bara diperkirakan 21 miliar ton, dengan tingkat produksi berkisar 200-300 juta ton per tahun, maka umur tambang akan dapat mencapai 100 tahun [13]. Hal ini cukup aman untuk menjamin keberlanjutan industri gasifikasi batu bara di Indonesia.

Proses gasifikasi batu bara adalah proses yang mengubah batu bara dari bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas. Dengan mengubah batu bara menjadi gas, maka material yang tidak diinginkan yang terkandung dalam batu bara seperti senyawa sulfur dan abu dapat dihilangkan dari gas dengan menggunakan metode tertentu sehingga dapat dihasilkan gas bersih dan dapat dialirkan sebagai sumber energi. *Syngas* merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metana, amonia, dan urea. Produksi *syngas* melalui gasifikasi batu bara kualitas rendah yang jumlahnya di Indonesia mencapai 70% [13] akan mampu menaikkan harga jual batu bara tersebut.

Syngas dari gasifikasi batu bara memiliki prospek yang bagus karena tiga hal, yang pertama, produk *syngas* sangat komersial, banyak digunakan oleh industri-industri, baik untuk bahan kimia, energi, dan bahan bakar transportasi. Yang kedua, *syngas* lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan gas alam maupun minyak bumi dengan rendahnya emisi CO₂, SO_x, dan NO_x. Yang ketiga, melimpahnya sumber daya batu bara di Indonesia. Selain cadangannya yang cukup besar, gasifikasi batu bara juga dapat memanfaatkan batu bara muda yang jumlahnya di Indonesia mencapai 70% [13].

Gasifikasi batu bara tidak hanya dapat digunakan untuk satu tujuan, tetapi dapat pula dirancang untuk tujuan yang lain secara bersamaan. Mekanisme ini disebut dengan *polygeneration (polygen)* atau *co-generation (co-gen)*.



Gambar 1. Alur penggunaan syngas

Lokasi pabrik gasifikasi batu bara direncanakan didirikan di Sumatra Selatan yang merupakan sumber cadangan batu bara terbesar di Indonesia. Daerah yang dipilih adalah daerah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Pemilihan lokasi ini karena letaknya yang tidak terlalu jauh dengan PT Pupuk Sriwidjaja. Ditambah lagi dengan adanya PT Bukit Asam sebagai produsen terbesar batu bara di Kab. Muara Enim tentu akan mempermudah pasokan batu bara sebagai bahan baku pabrik.

Batu bara kualitas rendah (*Low Rank Coal/LRC*) secara umum dalam praktik komersial adalah batu bara yang memiliki kandungan panas yang rendah, yaitu kurang dari 5.100 kCal/kg, termasuk juga peringkat batu bara mulai dari lignit hingga sub-bituminous B yang memiliki kandungan panas kurang dari 9.500 BTU/lb (<5.278 kCal/kg).

Tabel 1.
Spesifikasi Bahan Baku

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|--|-----------------------------------|
| 1. | Total Moisture (TM) (%) ar) | 30,0 |
| 2. | Calorific Value (CV) Gross CV (kCal/kg, ar) Net CV (kCal/kg, ad) | 4.550 5.500 |
| 3. | Proximate Analysis Inherent Moisture (IM) (%) Ash Content (%) Volatile Matter (VM) (%) Fixed Carbon (FC) (%) | 15,0 8,0 39,0 38,0 |
| 4. | Ultimate Analysis Carbon (C) (%) Hydrogen (H) (%) Oxygen (O) (%) Nitrogen (N) (%) Sulphur (S) (%) | 63,9 5,2 28,5 1,6 0,8 |

Pengertian satuan yang biasa dipakai dalam analisa batu bara [21]:

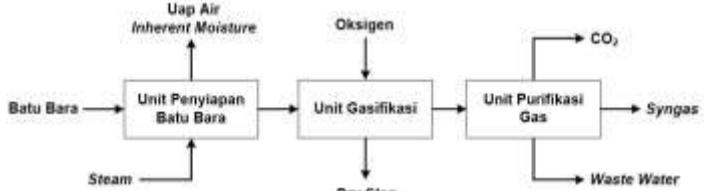
- *As Received* (ar): termasuk Total Moisture (TM).
- *Air Dried* (ad): hanya termasuk Inherent Moisture (IM).
- *Dry Basis* (db): tidak termasuk moisture.

Produk yang dihasilkan dari proses gasifikasi ini berupa *syngas* (*synthesis gas*), campuran gas yang mengandung H₂ dan CO dengan jumlah yang bervariasi. *Syngas* harus memiliki tekanan tinggi, mengingat proses untuk sintesis amonia berlangsung pada tekanan yang tinggi [5]. Selain itu, *syngas* harus bebas senyawa sulfur untuk menghindari korosi pada alat dan menghindari lepasnya senyawa sulfur ke lingkungan saat proses pembakaran, *carbon oxide* (CO dan CO₂), dan air [5]. Di samping itu, produk samping berupa CO₂ dengan kemurnian 90% dapat digunakan sebagai bahan baku sintesis urea. Namun, produk samping CO₂ ini perlu *treatment* lanjutan untuk menghilangkan kandungan airnya, mengingat CO₂ yang dapat digunakan untuk sintesis urea konsentrasi harus lebih dari 98,5% [5].

Tabel 2.
Target kualitas produk *syngas* berdasarkan komponen penyusun

| Komponen | Konsentrasi (%mol) |
|------------------|--------------------|
| CO | 55,0 |
| H ₂ | 40,0 |
| CH ₄ | 3,0 |
| CO ₂ | 0,05 |
| N ₂ | 1,5 |
| H ₂ O | 0,45 |

II. URAIAN PROSES



Gambar 2. Block Flow Diagram Proses Pembuatan Syngas dari Batu Bara

Penyiapan Batu Bara

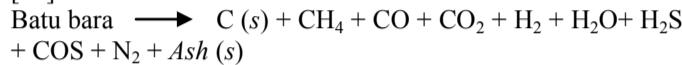
Proses awal gasifikasi dimulai dari penyiapan batu bara. Batu bara dari *open yard* akan *di-treatment* dengan berbagai macam perlakuan agar sesuai dengan kondisi dalam reaktor *gasifier*. Mula-mula batu bara dari *open yard coal* (F-111) diangkut menggunakan *belt conveyor* (J-112) menuju *hammer mill* (C-110). Di *hammer mill* ini terjadi proses *size reduction* dari batu bara berukuran 5 cm menjadi ukuran yang diinginkan, yaitu 1-6 mm. Setelah itu, batu bara yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam *rotary-tube dryer* (B-120) untuk menguapkan sebagian air bawaan yang ada dalam batu bara. Media pemanas yang digunakan dalam *rotary-tube dryer* adalah *steam* bertekanan yang dialirkan searah dengan arah aliran batu bara. Jika dilihat dari cara pengontakkan media pemanas dengan material, tipe *rotary dryer* yang digunakan adalah tipe tidak langsung, dimana panas ditransfer dari *steam* yang ada di dalam *tube* ke batu bara dengan cara konduksi. Media pemanas dan tipe tidak langsung ini digunakan karena batu bara merupakan material yang mudah terbakar sehingga kontak batu bara dengan oksigen yang dapat memicu reaksi pembakaran sebisa mungkin dihindari [4]. Batu bara yang kandungan airnya telah diuapkan kemudian diangkut oleh *scraper conveyor* (J-121) untuk dimasukkan ke dalam *bunker* (F-211) dengan bantuan *bucket elevator* (J-122). Dari *bunker*, batu bara dimasukkan ke dalam *lock hopper* (F-212) untuk dinaikkan tekanannya dari tekanan atmosfer (1,01 bar) menjadi 31 bar menggunakan gas CO₂ yang sebelumnya dikompres di *CO₂ compressor* (G-219). Kenaikan tekanan ini bertujuan untuk menyesuaikan tekanan batu bara dengan tekanan operasi *gasifier*. Dari *lock hopper*, batu bara dikeluarkan melalui mekanisme *air lock* dan dimasukkan ke dalam *gasifier* menggunakan *screw conveyor* (J-213). Mekanisme *air lock* ini memungkinkan untuk mengeluarkan batu bara dari *lock hopper* tanpa sertanya gas *inert* [2].

Gasifikasi Batu Bara

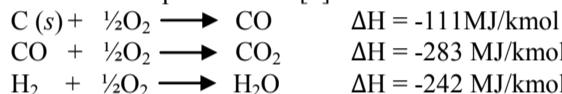
Oksidan berupa O₂ dari *oxygen storage tank* (F-214) dinaikkan tekanannya dari 1,01 bar menjadi 32 bar dengan cara dipompa menggunakan *oxygen pump* (L-215). Kemudian oksidan bertekanan ini dilewatkan pada *oxygen vaporizer* (E-216) untuk mengubah fasenya menjadi gas dan untuk menaikkan suhunya dari -185°C menjadi 160°C. Gas oksigen ini kemudian diinjeksikan melalui *injector nozzle* ke dalam *gasifier* (R-210). *Gasifier* yang digunakan berjenis *fluidized-bed* dengan tipikal proses High Temperature Winkler (HTW *Gasifier*). *Gasifier* ini bekerja pada kondisi temperatur 1.000°C dan tekanan 30 bar. Hal yang membedakan *gasifier* *fluidized-bed* dengan tipe *gasifier* lain adalah sistem terfluidisasi yang membuat *heat transfer* dan *mass transfer* antara gas dan partikel solid lebih sempurna serta penggunaan temperatur yang tidak terlalu tinggi sehingga mudah untuk dikontrol dan dikendalikan [16]. Kemajuan yang paling

penting dari teknologi ini adalah kenaikan tekanan yang mencapai 30 bar. Adanya kemajuan ini diharapkan mampu menurunkan energi kompresi. Temperatur yang tinggi juga berguna untuk meningkatkan konversi karbon dan kualitas gas, dimana semakin tinggi suhu, kandungan tar akan semakin menurun [5].

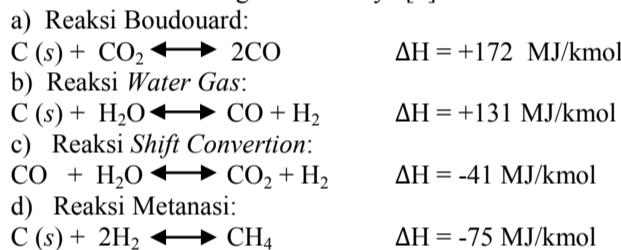
Di dalam *gasifier* terjadi berbagai macam reaksi yang dimodelkan menjadi tiga reaksi, yaitu reaksi pirolisis (devolatilisasi), reaksi pembakaran, dan reaksi gasifikasi. Mulanya, batu bara akan mengalami proses pirolisis untuk dekomposisi batu bara secara kimia dengan bantuan panas. Hasil dari pirolisis adalah karbon, *ash*, dan gas-gas ringan. Pada pirolisis dengan temperatur tinggi, produk yang dominan adalah gas, sedangkan pada temperatur rendah produk yang dominan adalah tar dan minyak berat [15]. Karena temperatur dalam *gasifier* cukup tinggi (1.000°C), maka diasumsikan tak ada tar atau minyak berat yang terbentuk. Reaksi pirolisis [5], [15]:



Karbon hasil pirolisis akan mengalami reaksi pembakaran dengan O₂ yang berasal dari tangki penyimpan. Sebagian besar O₂ yang diinjeksikan dalam *gasifier* ini akan digunakan untuk zona pembakaran. Proses pembakaran ini menghasilkan karbon dioksida, karbon monoksida, dan uap air, yang menyediakan panas untuk reaksi gasifikasi selanjutnya. Pirolisis dan pembakaran adalah proses yang sangat cepat. Reaksi-reaksi pembakaran [5]:



Reaksi gasifikasi terjadi karena karbon bereaksi dengan karbon dioksida dan steam untuk menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen. Reaksinya [5]:



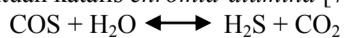
Reaksi Boudouard merupakan reaksi endotermis yang menghasilkan CO. Reaksi *water gas* dan *shift conversion* merupakan reaksi utama pada gasifikasi batu bara karena pada reaksi ini dihasilkan *syngas* H₂ dan CO beserta dengan CO₂ sebagai hasil samping. Dan yang terakhir reaksi samping metanasi yang menghasilkan metana dalam jumlah yang sedikit.

Karbon (*char*) yang tidak bereaksi dan 10% dari total *ash* turun sebagai *slag* di bagian *bottom* [16]. *Syngas* yang keluar dari *gasifier* akan menuju *cyclone* (H-217) untuk memisahkan *ash* yang terbawa keluar, lalu menuju ke *waste heat boiler* 1 (E-311) untuk didinginkan. *Syngas* didinginkan dengan media pendingin air dari suhu 1.000°C menjadi 300°C. Proses pendinginan ini menghasilkan *steam* yang dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

Pemurnian Gas Hasil Gasifikasi

Syngas dari *gasifier* masih mengandung berbagai senyawa pengotor, seperti H₂S, COS, dan CO₂. Adanya senyawa-senyawa tersebut dapat meningkatkan risiko korosi pada peralatan dan merusak katalis, termasuk katalis dalam proses pembuatan pupuk. Oleh karena itu *syngas* perlu dimurnikan terlebih dahulu [5].

Karbonil sulfida bukan merupakan gas asam, maka hidrolisis COS untuk membentuk H₂S sering dilakukan untuk pemurnian sulfur yang terkandung dalam COS. Tujuan pengonversian COS menjadi H₂S disebabkan adsorben yang digunakan untuk proses desulfurisasi lebih selektif terhadap H₂S daripada COS. Reaksi hidrolisis terjadi di COS *hydrolysis reactor* (R-310) dengan suhu operasi 303°C dan tekanan 29 bar dengan bantuan katalis *chromia-alumina* [7].



Setelah semua sulfur terdapat dalam bentuk senyawa H₂S, kemudian dilakukan proses pemisahan terhadap H₂S. Unit pemisahan senyawa sulfur adalah tangki *desulfurizer* (D-320) yang bekerja pada suhu 310°C dan tekanan 28,5 bar dengan bantuan adsorben ZnO. Reaksinya sebagai berikut.



Pada umumnya, adsorben ZnO tidak dapat diregenerasi. Akibatnya, adsorben ini kurang praktis jika digunakan untuk adsorpsi dengan konsentrasi H₂S yang tinggi [7]. Untuk keperluan *downstream* industri pupuk, kandungan H₂S di aliran *syngas* yang keluar dari tangki *desulfurizer* diharapkan dapat kurang dari 1 ppmv [5].

Syngas dari *desulfurizer* yang bebas dari kandungan H₂S kemudian diturunkan suhunya melalui *waste heat boiler* 2 (E-333) sehingga suhunya menjadi 50°C. Media pendingin yang digunakan adalah air. Proses pendinginan ini juga menghasilkan *steam* yang dapat digunakan untuk proses lainnya. Penurunan suhu bertujuan untuk menaikkan %*recovery* dari absorber karena absorber bekerja lebih baik pada suhu yang rendah dan tekanan tinggi. Selanjutnya, *syngas* dialirkan menuju kolom absorber (D-330) yang beroperasi pada suhu 50°C dan tekanan 27 bar. Pelarut MDEA 40% berat dari *MDEA storage tank* (F-331) diumpulkan ke kolom absorber dengan bantuan *MDEA pump* (L-332). Larutan MDEA akan mengabsorb gas CO₂, dan kemudian keluar menuju *stripper* (D-340) untuk proses *recovery* kembali pelarut. Sedangkan produk *syngas* bersih yang keluar dari absorber dialirkan melalui *gas pipeline*.

Untuk melakukan *recovery* pelarut, larutan MDEA kaya CO₂ (*rich-amine*) yang keluar dari kolom absorber diturunkan tekanannya dari 27 bar menjadi 3,52 bar dengan *expansion valve*. Penurunan tekanan ini bertujuan untuk meyesuaikan tekanan *rich-amine* dengan tekanan operasi *stripper*. Kemudian suhu *rich-amine* dinaikkan suhunya dengan cara melewatkannya di *lean-rich amine heat exchanger* (E-341). *Stripper* beroperasi pada suhu 125°C dan tekanan 2,03 bar. Untuk mengambil CO₂ dari pelarut, digunakan *superheated steam* dengan tekanan 2,03 bar dan suhu 125°C. *Steam* akan men-*strip* CO₂ dan keluar bersama-sama dari *stripper* menuju *stripper outlet cooler* (E-342) untuk didinginkan hingga suhu 45°C. Pendinginan ini bertujuan untuk mengkondensasi aliran gas CO₂ dan *steam* sehingga diperoleh fase campuran. *Lean-amine* yang keluar dari *stripper* dialirkan kembali ke *lean-rich amine exchanger* untuk diturunkan suhunya menjadi 70°C. *Lean-amine* ini kemudian diumpulkan kembali ke absorber dengan bantuan *MDEA recovery pump* (L-334). Aliran CO₂ dan *steam* yang berada dalam fase campuran dipisahkan dalam *separator* (H-343) untuk mendapatkan gas CO₂ yang lebih murni. Gas CO₂ yang lebih murni dialirkan menuju *gas pipeline* untuk proses sintesis urea.

III. NERACA MASSA

Umpam batu bara pada pabrik ini sebesar 617.760 ton/tahun dengan kapasitas produk *syngas* yang dihasilkan sebesar 653.000 ton/tahun (sekitar 29.000 MMSCF per tahun atau 88 MMSCFD) [8].

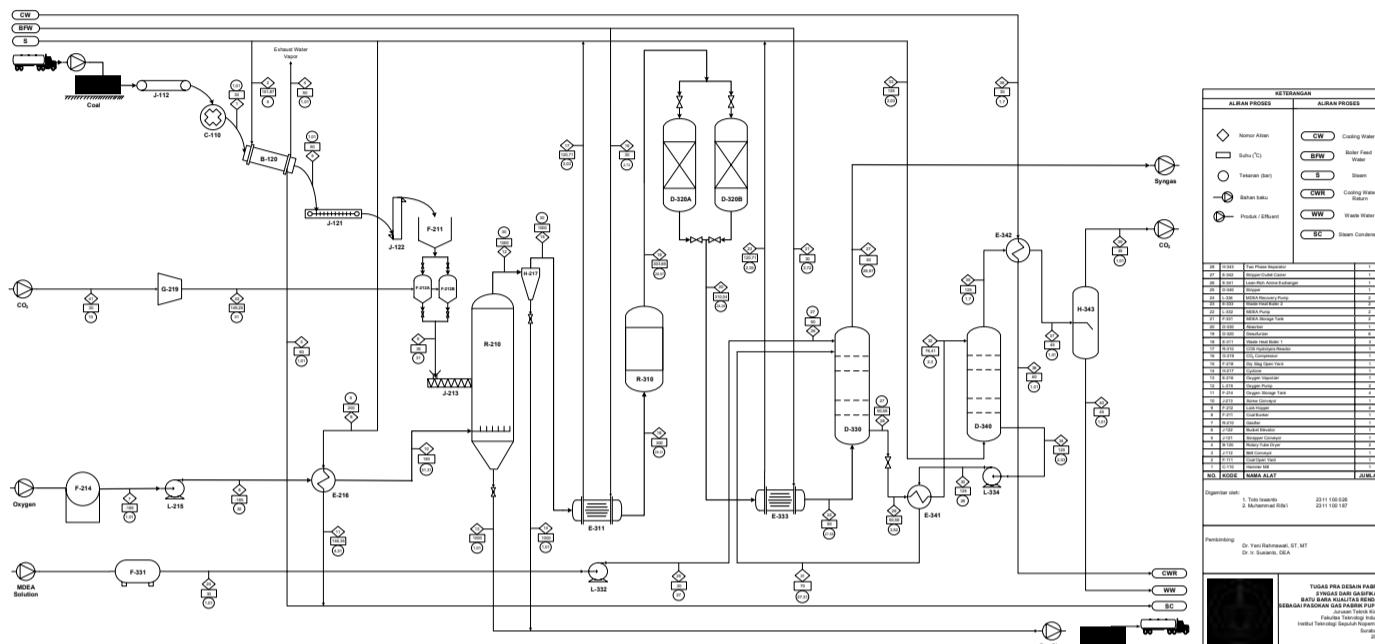
IV. ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi dimaksudkan untuk dapat mengetahui apakah suatu pabrik yang direncanakan layak didirikan atau tidak. Untuk itu dilakukan evaluasi atau studi kelayakan dan penilaian investasi. Faktor-faktor yang perlu ditinjau untuk memutuskan hal ini adalah laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return* / IRR), waktu pengembalian modal minimum (*Pay Out Time* / POT), dan titik impas (*Break Even Point* / BEP) [14]. Dari hasil perhitungan analisa ekonomi diperoleh *Total Cost Investment* (TCI) sebesar 121.170.377,3USD dengan bunga pinjaman 11% per tahun. Selain itu diperoleh IRR sebesar 27,48%, POT selama 3,47 tahun, dan BEP sebesar 45,05%. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 10 tahun dengan masa pembangunannya selama 2 tahun di mana operasi pabrik ini 330 hari/tahun.

V. KESIMPULAN

Dari analisa perhitungan ekonomi diperoleh *Total Cost Investment* (TCI) sebesar 121.170.377,3USD dengan bunga pinjaman 11% per tahun. Selain itu diperoleh IRR sebesar 27,48%, POT selama 3,47 tahun, dan BEP sebesar 45,05%. Harga IRR yang diperoleh lebih besar dari bunga pinjaman dan waktu pengembalian modal lebih kecil dari perkiraan usia pabrik. Dengan demikian, pabrik ini layak untuk didirikan.

LAMPIRAN



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Susianto, DEA atas bimbingan dan saran yang telah diberikan selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kohl, R. Nielsen, "Gas Purification," Texas: Gulf Publishing (1997).
- [2] A. Rautalin, C. Wilen, "Feeding Biomass into Pressure and Related Safety Engineering," Finlandia: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT) (1992).
- [3] A.J. Kidnay, "Fundamentals of Natural Gas Processing," New York: CRC Press (2006).
- [4] A.S. Mujumdar, "Handbook of Industrial Drying," Singapura: Taylor & Francis Group (2006).
- [5] C. Higman, M. Burgt, "Gasification," New York: Elsevier Science (2003).
- [6] C.J. Geankoplis, "Transport Process and Separation Process Principles," New Jersey: Prentice Hall (2003).
- [7] D.A. Bell, B.F. Towler, M. Fan, "Coal Gasification and Its Applications," New York: Elsevier Science (2011).
- [8] D.M. Himmelblau, J.B. Riggs, "Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering," New Jersey: Prentice Hall (1989).
- [9] E.E. Ludwig, "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants," Texas: Gulf Publishing (1997).
- [10] F.C. Vilbrant, C.E. Dryden, "Chemical Engineering Plant Design," New York: McGraw-Hill (1959).
- [11] G.D. Ulrich, "A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic," Canada: John Wiley & Sons (1984).
- [12] H.W. Haring, "Industrial Gas Processing," Berlin: Wiley - VCH Verlag GmbH (2008).
- [13] "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia", Pusat Data dan Informasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia (2013).
- [14] M.S. Peters, K.D. Timmerhaus, R.E. West, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers," Boston: McGraw-Hill (2003).
- [15] N.P. Cheremisinoff, A.J. Rezaiyan, "Principles of Gasification," Princeton: Taylor & Francis Group (2005).
- [16] P. Basu, "Combustion and Gasification in Fluidized Bed," Canada: Taylor & Francis Group (2006).
- [17] R.H. Perry, D.W. Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook," New York: McGraw-Hill (2008).
- [18] W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriot, "Unit Operations of Chemical Engineering," New York: McGraw-Hill (1993).
- [19] Y. Arullah, Nurhadi, H. Susanto, "Kajian Termodinamika Updraft Gasifier dengan Side Stream untuk Mengolah Batubara Sumatera Selatan Menjadi Gas Sintesis," Jurnal Rekayasa Kimia dan Proses (2010).
- [20] Laporan Tahunan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang Tbk. (2009-2013).
- [21] World Coal Association.
- [22] <http://www.bi.go.id>. Diakses tanggal 1 Januari 2015.
- [23] <http://www.pusri.co.id>. Diakses tanggal 3 Januari 2015.

TUGAS PRA DESAIN PABRIK SYNGAS DAN GASIFIKASI BATUBARA SUMATERA SELATAN SEBAGAI PADAAN GAS PABRIK PUPUK SRIWIJDJAJA

Institut Teknologi Sepuluh Nopember