

PENGARUH LARUTAN *BENFIELD*, LAJU ALIR GAS PROSES, DAN BEBAN *REBOILER* TERHADAP ANALISA KINERJA KOLOM CO_2 *ABSORBER* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULATOR *ASPEN PLUS V. 8.6*

Bagus Kurniadi^{1)*}, Dexa Rahmadan¹⁾, Gusti Riyan Febriyanto¹⁾, Ari Susandy Sanjaya¹⁾

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mulawarman
Jl. Sambaliung No.09 Kampus Gunung Kelua Samarinda, 75119

*E-mail: kurniadi.bagus95@gmail.com

Abstrak-Absorpsi adalah operasi pemisahan *solute* dari fasa gas ke fasa cair, yaitu dengan mengontakkan gas yang berisi *solute* dengan pelarut cair yang tidak menguap. Penerapan absorpsi dalam industri untuk mengambil suatu komponen dari campuran gas suatu produk reaksi, salah satu komponen yang sering dipisahkan adalah gas CO_2 . Pengurangan kadar CO_2 dari aliran gas proses dapat menghindari *poisoning* katalis sintesis serta dapat mengurangi biaya operasi. Penentuan *properties* yang digunakan dalam simulasi program *Aspen Plus v.8.6* adalah *property ELECNRTL* dan *equilibrium vapour-liquid*. Metode yang digunakan pada simulasi/penelitian ini adalah melakukan penentuan laju alir gas proses kolom *absorber* terdiri dari pengambilan data dan pengolahan data yang kemudian dilakukan simulasi. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui profil kadar keluaran CO_2 pada kolom CO_2 *absorber* pada kondisi aktual dibandingkan dengan data desain, yang ditinjau dari pengaruh konsentrasi larutan *Benfield*, laju sirkulasi larutan *Benfield*, laju alir dari gas proses, serta pengaruh *reboiler duty* pada kolom *absorber*. Berdasarkan hasilnya, keluaran gas CO_2 dari *absorber* adalah 0,11% yang mana melebihi batas dari desain yaitu 0,1% dengan kondisi gas seperti ini, untuk meningkatkan kinerja dari *absorber* maka CO_2 keluaran harus sama dengan batasan dari desain. Untuk mengatasi masalah ini, dengan cara meningkatkan konsentrasi *Benfield* menjadi 29,8% dan menurunkan laju alir gas proses. Penambahan beban *reboiler* pada *absorber* akan meningkatkan kadar CO_2 keluaran *absorber*, sehingga penambahan beban *reboiler* pada *absorber* tidak perlu dilakukan.

Kata kunci : *Absorber*, Konsentrasi *Benfield*, Laju Alir Gas Proses, Kadar CO_2 , *Reboiler Duty*, *Aspen Plus*

Abstract-Absorption is the operation separation of solutes from the gas phase into the liquid phase, with contacting the gas which contains solute liquid with solvent that doesn't evaporate. The application of absorption in the industry is taking a component from gas mixture to take reaction product, one of the component that frequently separated is CO_2 . Equity levels of CO_2 from process gas stream can be avoid poisoning the catalyst synthesis as well as can be reduced the cost of operation. The property of simulation program *Aspen Plus v.8.6* is *ELECNRTL* and *equilibrium vapor-liquid*. The method that used for this simulation or research is determination flow rate of process gas from column absorber based from base design data and working data which then simulated. The purpose from this simulation is to get knowing the profil level of exodus CO_2 in CO_2 column absorber in the actual condition which compare with design condition, which under review from effect of the concentration of *Benfield* solution, circulation flow of *Benfield* solution, flowrate from gas process, and effect from *reboiler duty* in column absorber. Based on the result, CO_2 gas outlet from the absorber is 0.11% which exceeds the limit from design, that is 0.1% with this condition, to increase the performance of the absorber, the CO_2 must have the same output from the limit of design. To solve this problem, increasing the concentration of *Benfield* to 29.8% and lowering the gas flow rate. Adding *reboiler duty* in the absorber, it will increase the level of CO_2 output from absorber, so adding *reboiler duty* in the absorber is not necessary.

Keywords : *Absorber*, *Benfield Concentration*, *Process Gas Flow Rate*, *CO₂ Levels*, *Reboiler Duty*, *Aspen Plus*

PENDAHULUAN

Proses absorpsi gas ke dalam liquida seringkali dijumpai di dalam dunia industri, seperti dalam industri gas alam, *petroleum chemical*

plants, dan industri Amonia. Tujuan dari penerapan absorpsi dalam industri adalah untuk mengambil suatu komponen dari campuran gas untuk mengambil suatu produk reaksi, salah satu

komponen yang seringkali dipisahkan adalah gas CO₂. Pada industri Amonia pengurangan kadar CO₂ dari aliran gas proses dapat menghindari *poisoning* katalis sintesis serta dapat mengurangi biaya operasi. Pemisahan CO₂ dari aliran gas proses menjadi salah satu bagian yang tidak kalah penting dengan bagian lainnya dalam proses pembuatan Amonia. Pemisahan CO₂ harus berjalan dengan baik mengingat kehadiran CO₂ pada aliran gas proses dapat menghambat proses sintesis Amonia. Senyawa – senyawa Oksida, termasuk CO₂, dapat mengoksidasi katalis sintesis Amonia, yaitu katalis berbasis Fe₃O₄, sehingga katalis tersebut dapat kehilangan keaktifannya. Selain itu, CO₂ adalah bahan baku pembuatan Urea, sehingga pemisahan CO₂ yang berjalan dengan baik dapat memperlancar jalannya proses pembuatan Urea [4].

Pengambilan CO₂ dari gas proses dilakukan dengan proses Absorpsi di dalam kolom CO₂ *absorber*. Pada proses ini CO₂ yang berada dalam gas proses diambil oleh larutan pelucut. Larutan pelucut CO₂ yang digunakan pada unit CO₂ Removal Pabrik Amonia Kaltim-3 adalah larutan *Benfield*. Larutan *Benfield* mengandung K₂CO₃ (±30%), Dietanolamin / DEA (± 2,9%), V₂O₅ (± 1,5%), dan sisanya berupa air. Komponen yang akan menyerap CO₂ adalah K₂CO₃, yang mana penyerapan CO₂ terjadi berdasarkan reaksi sebagai berikut :



Dietanolamin / DEA berfungsi sebagai aktivator yang bekerja seperti katalis, yaitu mempercepat reaksi penyerapan CO₂ oleh K₂CO₃, dengan cara menurunkan tegangan permukaan gas yang mengandung CO₂. Sementara itu, V₂O₅ berfungsi sebagai pencegah korosi pada kolom *absorber* dan *stripper* yang disebabkan oleh adanya ion Bikarbonat (HCO₃⁻). Larutan *Benfield* yang masuk belum mengandung CO₂ biasa disebut *lean solution*, sedangkan larutan *Benfield* yang telah digunakan untuk mengabsorb CO₂ dan mengandung banyak CO₂ disebut *rich solution* [3,4].

Kandungan gas CO₂ dalam gas sintesis keluaran CO₂ *removal* sering mengalami perubahan yang fluktuatif. CO₂ dalam gas sintesis keluaran CO₂ *removal* dibatasi 0,1% mol, akan tetapi saat ini CO₂ dalam gas sintesis keluaran CO₂ *removal* sebesar 0,11% [4]. Hal ini dipengaruhi oleh kinerja dari kolom *absorber* yang mengalami penurunan. Kinerja kolom *absorber* pada proses absorpsi CO₂ dipengaruhi oleh konsentrasi larutan *Benfield*, laju alir gas proses dan laju sirkulasi larutan *Benfield* yang

sangat berpengaruh terhadap tingkat kemurnian gas keluaran *absorber*. Oleh karena itu, perlu adanya analisa mengenai kinerja dari *absorber* lebih dalam sehingga dapat diketahui kondisi optimum dari kinerja *absorber* menggunakan simulasi *Aspen Plus* v.8.6.

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan *Benfield*, laju sirkulasi larutan *Benfield*, laju alir dari gas proses, serta pengaruh *reboiler duty* pada kolom *absorber*. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan pada industri untuk merancang unit *absorber* dan menganalisa serta mengoptimasi kinerja unit tersebut.

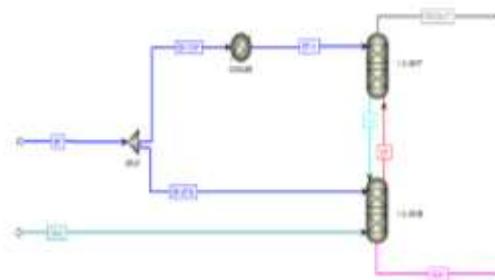
METODE PENELITIAN

Data yang dicantumkan terdiri dari data *sheet (base design)* dan data aktual pabrik. Dalam simulasi ini studi kasus yang dilakukan adalah penentuan laju alir gas proses *input* kolom *absorber*, laju alir *Benfield*, konsentrasi K₂CO₃, serta pengaruh *reboiler duty* pada kolom *absorber*.

Pada simulasi ini laju alir gas dan *Benfield* serta konsentrasi K₂CO₃ dari data aktual akan divariasikan untuk mendapatkan optimasi sesuai dengan data *design*. Untuk *Input* data variabel, variabel yang digunakan adalah laju alir gas *inlet* dan laju alir larutan *Benfield* yang digunakan pada *absorber*.

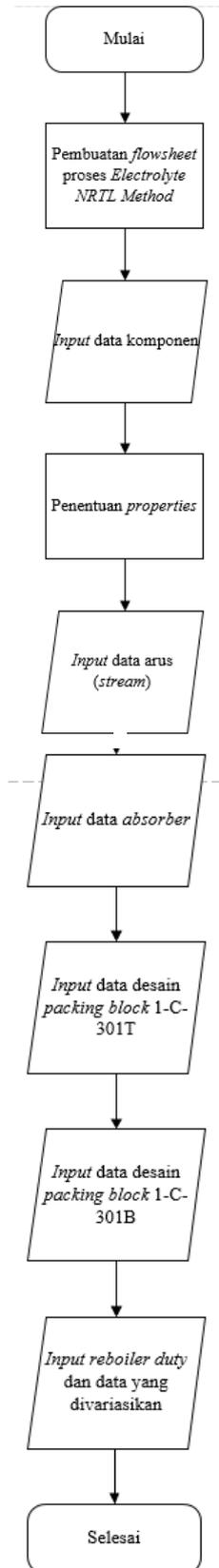
Data yang terdapat dari Amonia Kaltim-3 adalah data *design* dan data aktual. Data tersebut meliputi laju alir, temperatur, tekanan, dan komposisi komponen. Pada unit Amonia Kaltim-3 larutan *Benfield* yang digunakan memiliki kandungan K₂CO₃ 29% dengan laju alir 1.202.500 kg/jam sedangkan laju alir gas *inlet* sebesar 6.942,39 kgmol/jam. Untuk laju alir gas *inlet* diubah menjadi 104% sedangkan laju alir larutan *Benfield* diubah menjadi 110%. Untuk mengetahui pengaruh *reboiler duty* terhadap kinerja kolom *absorber* dilakukan *trial* dengan data yang divariasikan antara 20-80 Gcal/hr.

Prosedur Simulasi



Gambar 1. Flowsheet Absorber Unit Amonia dengan program *Aspen Plus* v.8.6

Simulasi dilakukan dengan langkah –langkah berikut :

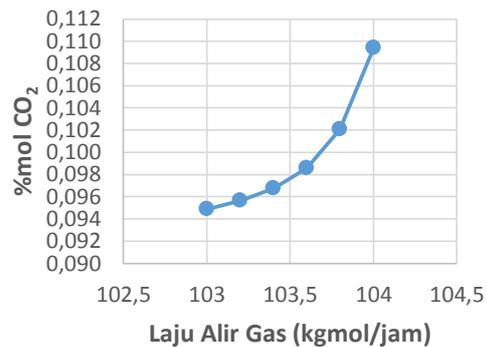


Gambar 2. Diagram alir proses simulasi dengan program Aspen Plus v.8.6 [2,4]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Laju Alir Terhadap Besarnya Kadar CO₂ yang Terkandung didalam Gas Proses keluaran Absorber

Gambar 3 merupakan hubungan antara laju alir gas proses dengan kadar CO₂ keluaran absorber dimana laju alir dan konsentrasi larutan Benfield dibuat tetap dan komposisi dari gas proses seperti data aktual. Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi laju alir gas proses maka kadar CO₂ keluaran kolom absorber semakin besar. Hal ini disebabkan karena beban dari absorber semakin besar. Dengan meningkatnya beban kolom absorber menyebabkan larutan Benfield akan semakin cepat mencapai titik jenuh larutan. Apabila larutan Benfield telah mencapai titik jenuhnya, maka larutan Benfield tidak mampu untuk melarutkan CO₂ yang terkandung didalam gas proses. Sehingga menyebabkan CO₂ yang lolos semakin banyak karena tidak larut dan terserap oleh larutan Benfield. Jika dilihat dari data aktual, laju alir gas proses dibuat sebesar 104 % dari laju alir gas proses pada desain. Dilihat dari kandungan CO₂ pada gas proses saat ini, lebih rendah dari pada gas proses pada desain. Akan tetapi kadar CO₂ yang lolos atau terkandung didalam gas keluaran absorber lebih tinggi dari batasan yang telah ditetapkan pada desain yaitu 0,11%. Seharusnya, kadar CO₂ yang lolos lebih rendah dari batasan yang ditetapkan pada desain yaitu dibawah 0,1% karena kandungan CO₂ pada data aktual 18,05% lebih rendah dari data desain 19,01%.

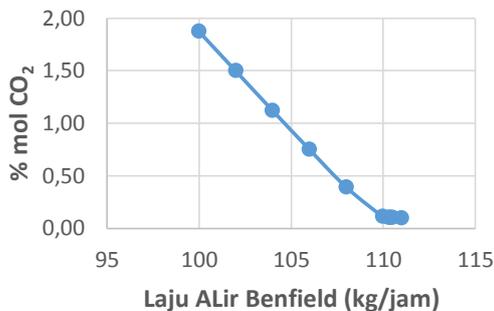


Gambar 3. Grafik Hubungan antara Laju Alir Gas Proses dengan Kadar CO₂ Keluaran Kolom Absorber

Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu cara untuk membuat kadar CO₂ yang lolos dapat mencapai batasan yang ditentukan sesuai desain sebesar 0,1% maka perlu diturunkan laju alir dari gas proses. Dengan catatan dalam hal ini konsentrasi dan laju sirkulasi dari larutan Benfield dibuat tetap. Kondisi optimum dari laju alir gas proses untuk mendapatkan CO₂ yang lolos sebesar

0,1% yaitu antara 103,6-103,8%. Akan tetapi, dengan menurunkan laju alir gas proses akan berpengaruh terhadap kapasitas produksi Amonia. Sehingga produksi Amonia akan mengalami penurunan.

Sedangkan Gambar 4 merupakan grafik hubungan antara laju alir sirkulasi larutan *Benfield* dengan kadar CO₂ keluaran *absorber* dimana laju alir dari gas proses umpan kolom *absorber* dan konsentrasi larutan *Benfield* dibuat tetap dengan komposisi dari gas proses seperti data aktual. Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin tinggi laju alir larutan *Benfield* maka kadar CO₂ keluaran kolom *absorber* semakin rendah. Hal ini disebabkan karena kontak antara lautan *Benfield* dengan gas proses semakin banyak. Sehingga, transfer massa pada kolom *absorber* semakin baik. Transfer massa yang baik pada kolom *absorber* menyebabkan larutan *Benfield* akan semakin lama mencapai titik jenuh larutan sehingga proses absorpsi semakin cepat.



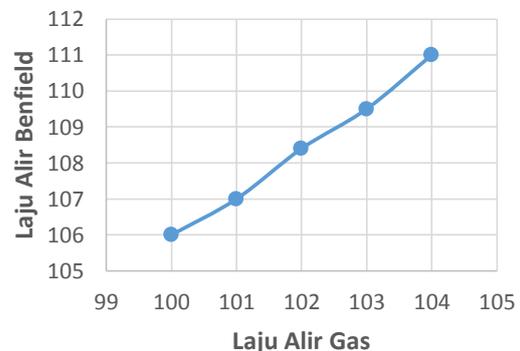
Gambar 4. Grafik Pengaruh Laju Alir Sirkulasi Larutan *Benfield* terhadap Kadar CO₂ Keluaran *Absorber*

Jika dilihat dari data aktual saat ini, laju alir sirkulasi dari larutan *Benfield* dibuat sebesar 110% dari laju alir sirkulasi larutan *Benfield* pada desain. Dengan laju sirkulasi sebesar 110% dari laju sirkulasi larutan *Benfield* desain kadar CO₂ yang keluar dari kolom *absorber* masih melampaui batasan yang telah ditetapkan pada desain yaitu 0,11%. Hal ini menandakan bahwa untuk mendapatkan kadar CO₂ yang keluar dari kolom *absorber* adalah 0,1% perlu ditingkatkan laju alir dari sirkulasi 110 % menjadi sekitar 110,3%.

Akan tetapi, jika dilihat dari performa pompa 1-P-301A/B hanya mampu membuat laju alir sirkulasi sebesar 110% [4]. Sehingga, untuk menurunkan kadar CO₂ keluaran *absorber* peningkatan laju sirkulasi belum bisa menjadi alternatif. Alternatif lain yang dapat dimanfaatkan adalah dengan merubah laju alir gas proses atau konsentrasi larutan *Benfield* (K₂CO₃) dengan komposisi dari umpan gas proses telah sesuai dengan data aktual.

Hubungan Antara Laju Alir Gas Proses Dengan Laju Sirkulasi Larutan *Benfield* Pada Komposisi Sesuai Data Aktual

Gambar 5 merupakan grafik hubungan antara laju alir gas proses dengan laju alir larutan *Benfield* dimana konsentrasi dari larutan *Benfield* tetap dan CO₂ keluaran *absorber* sebesar 0,1% pada komposisi gas proses seperti data aktual. Dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi laju alir gas proses yang masuk kedalam kolom *absorber* untuk dilakukan proses absorpsi, maka laju alir dari larutan *Benfield* akan semakin besar untuk mendapatkan kadar CO₂ keluaran *absorber* sebesar 0,1%. Hal ini disebabkan karena semakin besar laju alir dari gas proses, CO₂ yang dipisahkan dari gas proses umpan pada *absorber* semakin besar. Sehingga untuk mengimbangi banyaknya jumlah CO₂ yang diserap dibutuhkan jumlah larutan *Benfield* yang semakin besar untuk dapat menyerap CO₂ pada gas proses. Jika tidak diimbangi dengan peningkatan laju alir dari larutan *Benfield* ini menyebabkan larutan *Benfield* cepat jenuh sehingga larutan *Benfield* tidak mampu untuk menyerap CO₂ pada gas proses. Peningkatan laju alir dari gas proses yang masuk kedalam *absorber* harus diimbangi dengan meningkatkan laju alir dari larutan *Benfield*.

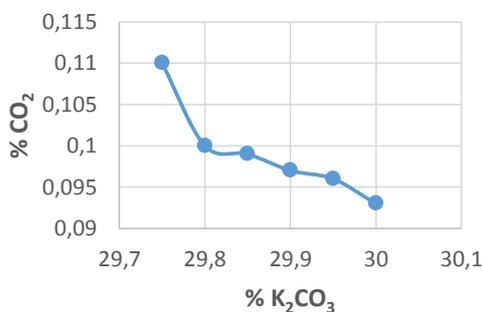


Gambar 5. Grafik Hubungan Laju Alir Gas Dengan Laju Alir Sirkulasi Larutan *Benfield*

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 5, kita dapat diketahui laju alir dari larutan *Benfield* yang harus diterapkan pada proses CO₂ Removal dengan konsentrasi larutan *Benfield* seperti kondisi saat ini sehingga CO₂ yang terkandung dalam keluaran gas proses pada *absorber* sebesar 0,1%. Atau sebaliknya, jika laju alir dari larutan *Benfield* telah dibuat maksimal kita dapat mengetahui seberapa besar laju alir gas proses yang diumpankan kedalam *absorber* sehingga gas proses yang keluar dari *absorber* memiliki kadar CO₂ 0,1%.

Pengaruh Konsentrasi Larutan Benfield terhadap Kadar CO₂ yang Terkandung Didalam Gas Proses Keluaran Absorber

Gambar 6 merupakan grafik hubungan antara konsentrasi larutan Benfield (K₂CO₃) dengan kadar CO₂ keluaran absorber dimana laju alir gas proses dan laju alir sirkulasi larutan Benfield dibuat tetap dan komposisi dari gas proses seperti data aktual. Dari grafik diatas terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi dari larutan Benfield maka kadar CO₂ keluaran kolom absorber semakin rendah. Hal ini disebabkan karena transfer massa semakin besar. Sehingga semakin banyak CO₂ yang dapat dipisahkan dalam absorber. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi larutan Benfield maka jumlah CO₂ yang bereaksi dengan larutan Benfield semakin banyak.



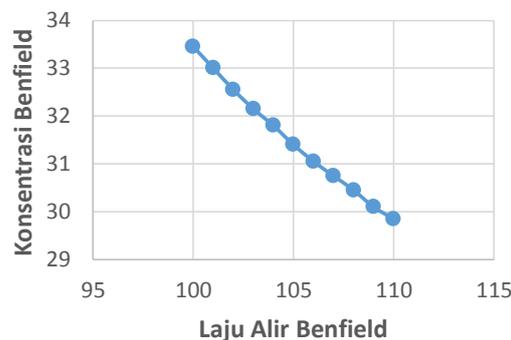
Gambar 6. Grafik Hubungan Konsentrasi Larutan Benfield (K₂CO₃) terhadap Kadar CO₂ Keluaran Absorber

Jika dilihat dari data aktual saat ini, konsentrasi larutan Benfield (K₂CO₃) dibuat sebesar 29,75%. Dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan benfield tersebut kadar CO₂ pada keluaran kolom absorber masih sebesar 0,11%. Untuk mendapatkan kadar CO₂ keluaran absorber sebesar 0,1% maka perlu ditingkatkan konsentrasi dari larutan Benfield (K₂CO₃). Konsentrasi yang digunakan untuk mendapatkan kadar tersebut sebesar 29,8%.

Hubungan Antara Laju Alir Benfield Dengan Konsentrasi Benfield Pada Komposisi Sesuai Data Aktual

Gambar 7 merupakan grafik hubungan antara laju alir sirkulasi larutan Benfield (K₂CO₃) dengan konsentrasi larutan Benfield dimana laju alir gas proses tetap dengan komposisi sesuai dengan data aktual dan CO₂ keluaran absorber sebesar 0,1%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju alir sirkulasi larutan Benfield (K₂CO₃), maka konsentrasi dari larutan Benfield (K₂CO₃) akan semakin rendah untuk mendapatkan kadar CO₂ keluaran absorber sebesar 0,1%. Hal ini disebabkan antara laju alir sirkulasi dari larutan Benfield dan konsentrasi dari larutan Benfield

semakin tinggi nilainya, maka transfer massa semakin besar sehingga CO₂ yang terserap semakin banyak.



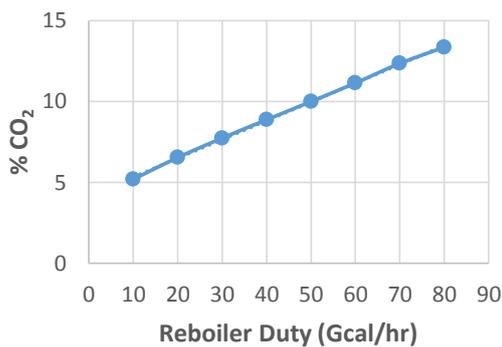
Gambar 7. Grafik Hubungan Laju Alir Sirkulasi Larutan Benfield dengan Konsentrasi Larutan Benfield (K₂CO₃)

Dengan menggunakan grafik diatas, dapat diketahui seberapa besar konsentrasi dari larutan Benfield (K₂CO₃) yang digunakan dengan laju alir sirkulasi dari larutan Benfield yang harus diterapkan pada proses CO₂ Removal dengan laju alir gas proses seperti kondisi saat ini sehingga CO₂ yang terkandung dalam keluaran gas proses pada absorber sebesar 0,1%, atau sebaliknya.

Konsentrasi larutan Benfield yang disarankan dalam proses absorpsi CO₂ berkisar antar 25 – 30%. Karena jika terlalu pekat selain kecepatan korosi meningkat juga akan memengaruhi keluaran CO₂ produk pada kolom stripper, dimana akan menyebabkan impuritas pada keluaran CO₂ produk meningkat [4]. Selain itu, untuk pabrik ini laju alir maksimal yang dapat dialirkan oleh pompa 1-P-301 adalah 110% [4]. Oleh karena itu, kondisi optimum untuk mendapatkan CO₂ keluaran absorber sebesar 0,1% adalah pada laju alir sirkulasi larutan Benfield 109 – 110% dengan konsentrasi larutan Benfield 29,5 – 30 %.

Pengaruh Beban Reboiler terhadap Kadar CO₂ yang Terkandung Didalam Gas Proses Keluaran Absorber

Gambar 8 merupakan grafik hubungan antara beban reboiler dengan kadar CO₂ keluaran absorber. Dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah beban reboiler maka kadar CO₂ keluaran absorber semakin besar. Hal ini berarti penambahan beban reboiler berbanding terbalik dengan kadar keluaran CO₂ absorber, sehingga penambahan reboiler pada absorber tidak perlu dilakukan. Adanya panas dapat mengakibatkan transfer massa dari larutan Benfield dengan gas proses terganggu sehingga banyak CO₂ yang lolos.



Gambar 8. Grafik Hubungan Beban *Reboiler* terhadap Kadar CO₂ Keluaran *Absorber*

KESIMPULAN

Dari simulasi ini dapat disimpulkan untuk meningkatkan kinerja dari *absorber* sehingga keluaran sesuai dengan batasan yang ditentukan dapat dilakukan dengan beberapa cara :

1. Meningkatkan konsentrasi dari larutan *Benfield* dengan mempertahankan laju alir gas proses dan laju sirkulasi larutan *Benfield*. Dimana konsentrasi ditingkatkan menjadi 29,8% .
2. Menurunkan laju alir gas proses yang di umpankan kedalam kolom *absorber* dengan mempertahankan laju sirkulasi dan konsentrasi larutan *Benfield*. Dimana laju alir gas proses diturunkan antara 103,6 – 103,8%.
3. Untuk pengaruh beban *reboiler* pada kinerja kolom *absorber*, berdasarkan hasil simulasi semakin besar beban *reboiler* maka kadar CO₂

keluaran *absorber* semakin besar, sehingga penambahan *reboiler* pada *absorber* tidak perlu dilakukan.

SARAN

1. Perlu dilakukan studi kasus lebih lanjut tentang pengaruh peningkatan konsentrasi larutan *Benfield* terhadap tingkat korosi pada peralatan yang dilaluinya.
2. Perlu dilakukan evaluasi dari pompa 1-P-301 A/B untuk meningkatkan laju sirkulasi dari larutan *Benfield*.
3. Perlu studi lanjut tentang pengaruh peningkatan konsentrasi aktivator DEA terhadap larutan *Benfield* yang berpengaruh pada absorpsi CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

1. Coulson, J.M. and J.F. Richardson, 2002, *Coulson's and Richardson's Chemical Engineering, Particle Technology and Separation Processes, Volume 2 5th Edition*, Butterworth – Heinemann, USA.
2. Luyben, William, 2013, *Distillation Design and Control Using Aspen Simulation, 2nd edition*, New Jersey : Wiley & Sons Inc.
3. Perry, Robert dan Green, Down. 1999, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, McGraw Hill.
4. Tim Start Up, *Uraian Proses Pabrik Amonia Kaltim-3*, 1988, PT Pupuk Kalimantan Timur.