

TEKNOLOGI HEMAT ENERGI UNTUK PRODUKSI ALKOHOL FUEL GRADE YANG EFISIEN

Srie Muljani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri UPN Veteran Jawa Timur

Abstrak

Sasaran kajian penelitian ini adalah menentukan kebutuhan energi pada operasi distilasi ekstraksi menggunakan entrainer solven dan garam untuk memproduksi alkohol fuel grade (kadar >99.8% berat). Tahapan prosesnya dilakukan dalam dua kolom, kolom utama distilasi ekstraksi dan kolom pemurnian solven. Parameter penentuan reduksi energi adalah membandingkan dengan proses konvensional dan mengkaji pengaruh solven ethylene glycol dan beberapa garam. Ratio solven dan umpan (S/F) divariasi dalam rentang 0.3 – 1.4, konsentrasi garam dalam solven pada rentang 0.03 – 0.55 g garam / ml solven dan reflux ratio 0.5 – 2.5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memperoleh hasil yang diharapkan yaitu produk alkohol fuel grade berkadar > 99.8 % dapat dilakukan dengan menggunakan ratio solven 0.9, konsentrasi garam K_2CO_3 : 0.05 g/ml atau $CaCl_2$ 0.75 g/ml atau $NaCl$: 0.13 g/ml, pada reflux operasi 1.5. Pada kondisi ini kebutuhan energi total untuk operasi distilasi ekstraksi dan distilasi solven adalah yang terendah $Q = 821$ KJ/kg; jumlah stage yang diperlukan sekitar 34 (35 % lebih kecil dari distilasi konvensional).

Kata kunci: alkohol fuel grade, distilasi ekstraksi, campuran solven

Abstract

The aim of this study is to calculate energy consumption at extractive distillation process with salts and solvent mixture as entrainer to produce fuel grade alcohol (>99.8%w). This process used two column, the main extractive column and the recovery column. A substantial reduction in the energy consumption, compared with conventional process, was predicted by using ethylene glycol and salts is $NaCl$, K_2CO_3 and $CaCl_2$ as entrainer. Solvent and feed volum ratio (S/F) are varied in the range 0.3 – 1.4, concentration salts in solvent are varied in the range 0.03 – 0.55 g salt / ml solvent and reflux ratio 0.5 – 2.5. The results show that high S/F ratios increase the energy consumption, temperature of the solvent has important effect on distillate composition and energy consumption, this effect depends on the reflux ratio. Effect of salts show that when salts concentration increases, distillate composition and energy consumption also increase. For distillate composition > 99.8%w, the lower energy consumption $Q = 821$ KJ/kg and number of stage 36 (35% lower than conventional process) reached in S/F ratio 0.9, K_2CO_3 : 0.05 g/ml or $CaCl_2$ 0.75 g/ml or $NaCl$: 0.13 g/ml, at reflux ratio 1.5.

Key words: fuel grade alcohol, extractive distillation, solvent mixture

PENDAHULUAN

Krisis energi telah menjadikan banyak pengembangan penelitian energi alternatif untuk menanggulangi berkurangnya cadangan minyak bumi yang tidak terbarukan. Alkohol fuel grade (ethanol) merupakan salah satu alternatif bahan bakar yang menjanjikan dimasa depan selain biodiesel. sumberdaya alam yang cukup berlimpah di Indonesia sebagai bahan bakunya dan proses yang relatif sederhana akan menjamin produksi alkohol fuel mempunyai prospek yang baik dimasa yang akan datang.

Industri Alkohol di Indonesia umumnya memproduksi alkohol biasa dengan kadar maksimal 95.6% karena konsumen untuk alkohol ini di Indonesia masih relatif tinggi dibanding alkohol ekstra murni. Berdasarkan fakta tersebut akan dikaji peningkatan kadar alkohol menjadi alkohol fuel grade dengan mempertimbangkan efisiensi produksinya

Distilasi ekstraksi operasinya hampir sama dengan distilasi biasa hanya ada penambahan solven yang memiliki densitas dan titik didih yang cukup tinggi sebagai entrainer. Adanya perbedaan relatif volatilitas

(α) yang tinggi menjamin produk alcohol bisa mencapai > 99%. Jumlah solven yang diperlukan umumnya cukup besar, sehingga diperlukan diameter kolom yang besar, beban panas yang tinggi dan efisiensi platnya rendah. Selain bahan organik beberapa jenis garam dapat digunakan sebagai solven. Atas dasar itulah penelitian ini akan mengkaji pengaruh garam dan solven terhadap operasi distilasi dengan mempertimbangkan kebutuhan energi dan biaya operasional yang efisien

Alkohol atau ethanol (C_2H_5OH) memiliki sifat fisik tidak berwarna, berbau khas, mudah menguap dan terbakar, tidak berjelaga dan warna api kebiruan, serta larut sempurna dengan air. Produksi alkohol dengan proses distilasi umumnya hanya bisa menghasilkan alcohol maksimum 95,6 % berat, hal ini disebabkan adanya azeotrop homogen atau rendahnya relative volatility. Untuk bisa menghasilkan alkohol dengan kemurnian > 95,6 % diperlukan beberapa teknologi antara lain : distilasi vacuum, distilasi ekstraksi, distilasi azeotrop dan yang terbaru adalah distilasi adsorpsi.

Distilasi azeotrop dioperasikan dengan cara menambahkan solven organic seperti pentan atau bensin. Teknologi ini memerlukan tambahan 2 unit distilasi. Produk alcohol > 99% dikeluarkan dari bagian bawah kolom distilasi unit 1 sedangkan solven dikeluarkan dari atas kolom. Distilat yang banyak mengandung solven diumpukan kedalam kolom distilasi unit 2 untuk memisahkan air dari solven. Solven selanjutnya digunakan kembali (reecycle) ke kolom distilasi unit 1.

Distilasi ekstraksi operasinya hampir sama dengan distilasi azeotrop hanya solven yang ditambahkan memiliki densitas dan titik didih yang cukup tinggi. Adanya perbedaan relatif volatilitas (α) yang tinggi menjamin produk alcohol bisa mencapai > 99%. Produk alcohol > 99% dikeluarkan dari bagian atas kolom distilasi sedangkan solven dikeluarkan dari bawah kolom. Jumlah solven yang diperlukan umumnya cukup besar, sehingga diperlukan diameter kolom yang besar, beban panas yang tinggi dan efisiensi platnya rendah. Selain bahan organik beberapa jenis garam dapat digunakan sebagai solven.

Zhou Ronqi dan Zhanting (1998), mengkaji produksi alcohol anhydrous dengan metode distilasi ekstraksi menggunakan solven dan garam untuk dibandingkan dengan

metode distilasi ekstraksi konvensional yang hanya menggunakan solven saja atau garam saja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan garam kedalam solven dapat menurunkan jumlah reecycle solven 1/4 - 1/5 dan menurunkan jumlah plate (N) teoritis 1/3. Dengan demikian konsumsi energi juga menurun dan produksi secara kontinyu dapat direalisasikan. Fisibel dari segi efisiensi yang tinggi dan rendahnya limbah solven.

Srie Muljani dkk, mengkaji tentang pemisahan ethanol(alcohol)-air dengan solven kombinasi Ethylene Glycol + NaCl. Pengkajian diarahkan untuk memperoleh konsentrasi alcohol > 99%. Bahan baku yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah alcohol dengan konsentrasi 70%, ratio umpan/solven divariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ratio umpan/solven = 1 : 1 dengan garam NaCl 1,8% dapat dihasilkan produk dengan konsentrasi alcohol 99,9%

Pertimbangan pemilihan solven antara lain : Harga relative murah, pemakaian tidak banyak, perbedaan relative volatility tinggi, tidak berbahaya dan mudah dipisahkan dari air (limbah solven seminim mungkin)

Harga **Relatif Volatilitas (α)** diperlukan sebagai data untuk penentuan jumlah plate (tray). Harga α selalu lebih besar 1. Untuk komponen A yang lebih volatil dari komponen B, harga α dapat ditentukan sebagai berikut

$$\alpha = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} \quad (1)$$

Dengan penambahan solven pada operasi DE harga α akan meningkat

Kebutuhan Energi (Q)

Meningkatnya harga α juga berpengaruh pada kebutuhan energi yang dikonsumsi untuk kolom DE. Kebutuhan energi reboiler yang minimum (Q) untuk campuran binair dapat dinyatakan dengan :

$$Q = H_V [1/(\alpha-1) + x_F] \quad (2)$$

dimana, H_V : panas laten penguapan (energi/massa), x_F : mole fraksi umpan

Reflux Ratio Operasi (Rd).

Telah diketahui untuk meningkatkan kemurnian produk distilasi diperlukan reflux pada operasinya, makin besar reflux dapat menyebabkan besarnya kebutuhan energi (reboiler dan kondensor makin besar) dan besarnya diameter kolom distilasi, sementara makin kecil reflux maka jumlah plate (N) akan semakin besar. Dapat dinyatakan dalam

kondisi reflux yang sangat besar (total reflux) dan pada reflux minimum akan diperlukan modal dasar yang tinggi, dan selain itu makin besar reflux biaya operasinya juga makin tinggi. Biaya total yang diperlukan adalah jumlah dari modal dasar dan biaya operasi tersebut.

Sehingga perlu dikaji penentuan reflux yang optimum. Besarnya reflux operasi / optimum pada umumnya berkisar 1,2 – 2 kali reflux minimumnya. Reflux didefinisikan sebagai ratio antara liquid yang dikembalikan kedalam kolom terhadap produk distilat

$$R_D = L/D \quad (3)$$

Neraca panas disekitar kondensor :

$$Q_s = H_v (R_D + 1) D \quad (4)$$

Energi bahan bakar boiler yang dibutuhkan untuk steam reboiler

$$Q_f = Q_s / \eta B, \text{ energi/waktu} \quad (5)$$

dimana, H_v : panas penguapan produk atas, energi/massa

ηB : efisiensi steam boiler

Hasil studi *Sabarathinam* (3) yang mengkaji *saving energy* untuk distilasi system propylene - propan menunjukkan bahwa makin tinggi kemurnian produk, reflux operasinya makin besar dan kebutuhan energi reboilernya juga meningkat.

Metode Penelitian

Kajian operasi distilasi ekstraksi (DE) untuk menghasilkan alkohol fuel meliputi 2 tahapan proses yaitu : proses distilasi ekstraksi dan proses pemurnian solven (recovery solvent) Operasi distilasi dilakukan pada kolom distilasi berplate pada tekanan atmosfer dengan volume alkohol ditetapkan 300 ml pada konsentrasi 70% berat Ratio solven dan umpan (S/F) divariasi dalam rentang 0.3–1.4, konsentrasi garam dalam solven pada rentang 0.03 – 0.55 g garam / ml solven dan reflux ratio 0.5 – 2.5

Peralatan Penelitian DE

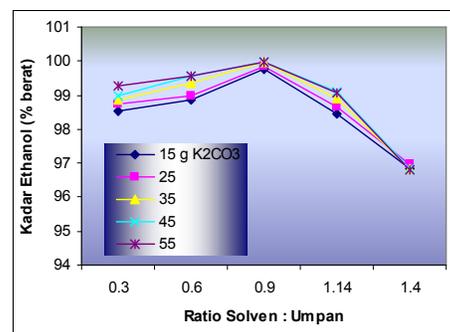
Peralatan produksi alkohol fuel dengan DE seperti gambar berikut :



Gambar 1. Peralatan Proses Distilasi Ekstraksi skala Laboratorium

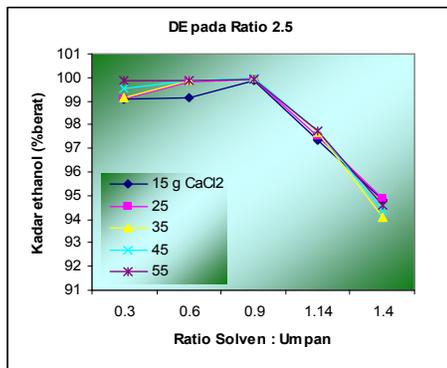
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian produksi alkohol fuel grade yang telah dilaksanakan skala laboratorium menggunakan solven ethylene glycol dan garam NaCl, K_2CO_3 serta $CaCl_2$ yang divariasi ratio volume serta konsentrasinya, menunjukkan hasil sesuai yang diharapkan yaitu perolehan alkohol fuel grade > 99.8 % pada beberapa kondisi yang telah dikaji.

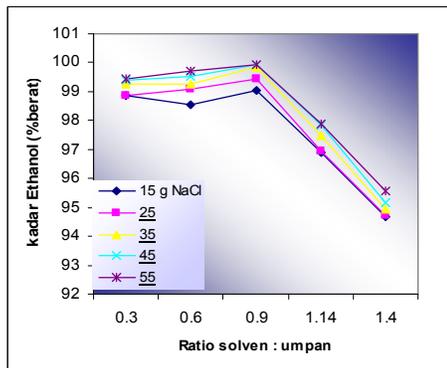


Gambar 2. Pengaruh ratio S/F dan konsentrasi garam K_2CO_3 terhadap Kadar Ethanol

Hasil penelitian dari gambar 2 dapat dilihat bahwa penambahan garam dan ratio S/F dapat meningkatkan kadar ethanol dalam produk, namun bila konsentrasi garamnya terlalu rendah, kadar ethanol yang dihasilkan juga tidak terlalu tinggi, hal ini dapat dilihat pada ratio S/F > 1.2. Pada daerah ini kadar produk alkohol cenderung menurun akibat dari peran dehidrasi garam yang berkurang dan solven sendiri tidak menunjukkan peran yang signifikan pada ratio ini. Sebaliknya bila konsentrasi garam dalam solven tinggi seperti terlihat pada ratio S/F < 0.6, peran garam dalam proses dehidrasi lebih signifikan dibanding peran solven sehingga kadar produk ethanol akan lebih tinggi dibanding pada ratio S/F > 1.2 untuk jumlah garam yang sama. Kecenderungan yang sama dapat dilihat pada pengaruh garam NaCl dan CaCl₂ seperti terlihat pada gambar 3 dan 4.



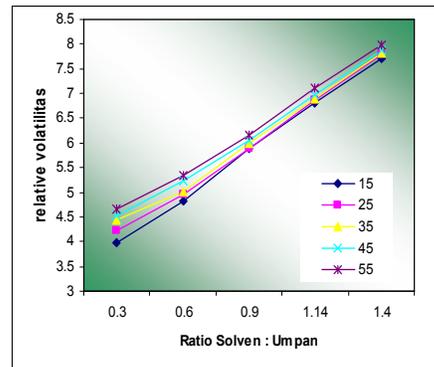
Gambar 3. Pengaruh ratio S/F dan garam CaCl₂ terhadap Kadar Ethanol



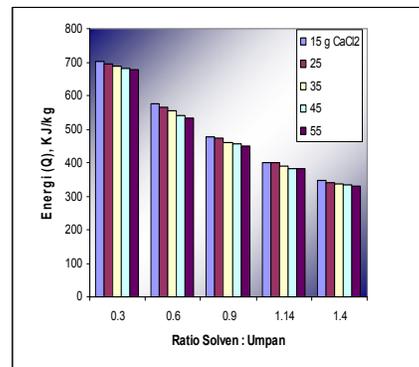
Gambar 4. Pengaruh ratio S/F dan garam NaCl terhadap Kadar Ethanol

Harga relatif volatilitas (α) menunjukkan perubahan yang signifikan

dengan adanya penambahan solven, hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin besar solven yang ditambahkan maka fraksi mol ethanol dalam campuran ethanol-ethylene glycol menjadi berkurang atau rendah sehingga makin besar ratio solven harga α juga semakin besar. Selain konsentrasi, titik didih campuran juga berpengaruh pada harga α , makin besar volum solven, suhu campuran makin tinggi sehingga harga α juga makin besar.



Gambar 5. Pengaruh ratio S/F dan variasi garam pada relatif volatilitas



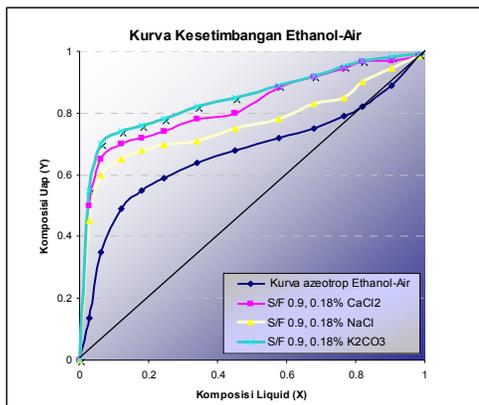
Gambar 6. Pengaruh ratio S/F dan variasi garam terhadap energi reboiler

Besarnya harga α dapat mereduksi jumlah plate yang diperlukan namun besarnya beban liquid ini bisa menyebabkan besarnya diameter plate. Dari gambar 5 menunjukkan bahwa semakin banyak garam yang ditambahkan dan semakin besar ratio solven : umpan harga relatif volatilitas (α) meningkat. Relatif volatilitas merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pemisahan pada sistem distilasi, dimana 2 komponen yang saling melarut seperti ethanol - air dapat dipisahkan jika α tidak mendekati 1 atau sama

dengan 1. Dari data penelitian didapat hasil relatif volatilitas (α) terbesar adalah 7,15

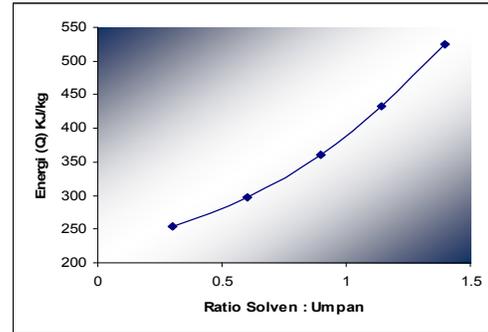
Kajian pengaruh ratio solven dan kombinasi garam terhadap jumlah plate

Harga relatif volatilitas (α) ini akan berpengaruh pada kurva kesetimbangan ethanol-air, makin besar α makin kecil jumlah platnya pada operasi reflux yang sama. Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa untuk penambahan garam dan ratio solven yang sama, garam K_2CO_3 mendekati sama dengan garam $CaCl_2$, yang memberikan harga α lebih besar dari garam $NaCl$. Dengan demikian pada reflux yang sama akan dihasilkan jumlah plate yang lebih kecil dari kebutuhan plate untuk garam $NaCl$

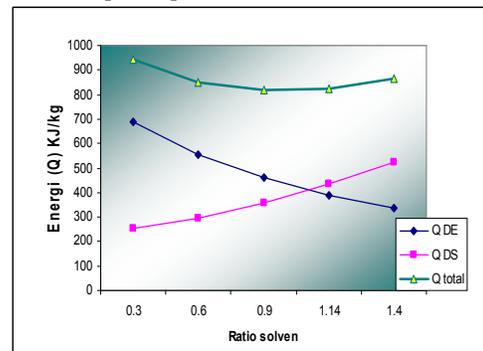


Gambar 7. Kurva kesetimbangan Ethanol-Air untuk berbagai jenis garam pada S/F 0.9

Telah dikaji sebelumnya bahwa penambahan solven berpengaruh pada harga relatif volatilitasnya, makin besar solven makin besar relatif volatilitasnya sehingga jumlah platnya makin kecil, selain itu juga dapat menurunkan konsumsi energi pada operasi DE seiring dengan kenaikan ratio solven atau relatif volatilitasnya (gambar 7). Namun jumlah solven yang banyak akan berpengaruh pada kebutuhan energi untuk operasi pemisahan solvennya (gambar 8). Dari grafik pada gambar 9 menunjukkan bahwa energi total yang terendah diperoleh pada ratio S/F 0.9 sekalipun perbedaannya tidak terlalu signifikan.

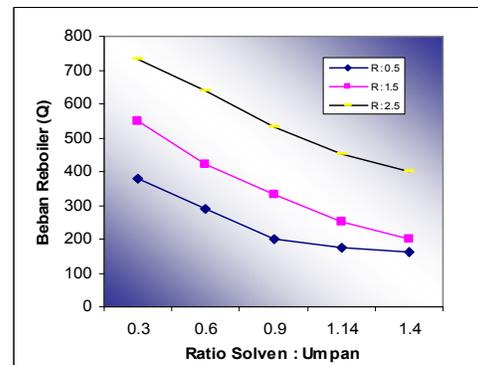


Gambar 8. Pengaruh ratio S/F dan variasi garam terhadap energi reboiler pada operasi pemurnian

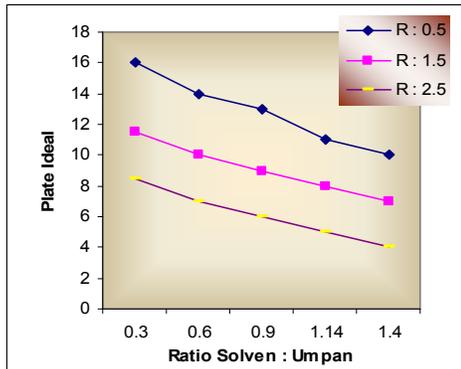


Gambar 9. Pengaruh ratio S/F dan variasi garam terhadap total kebutuhan energi reboiler

Besarnya reflux mempengaruhi jumlah kebutuhan plate dan konsumsi energi, makin besar reflux makin kecil kebutuhan platnya (gb.11), namun beban kondensor dan reboiler juga makin besar (gb.10). Berdasarkan kajian diatas maka reflux operasi dipilih berdasarkan pertimbangan energi dan jumlah plate yang dibutuhkan.

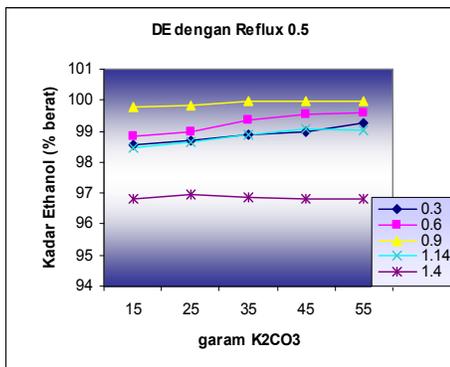


Gambar 10. Pengaruh reflux ratio terhadap kebutuhan energi (Q)

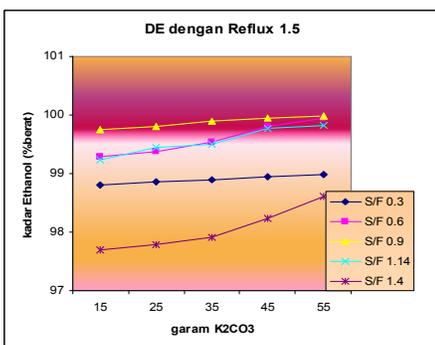


Gambar 11. Pengaruh reflux ratio terhadap jumlah plate ideal

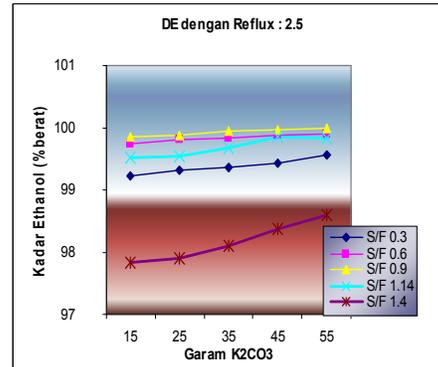
Perubahan reflux operasi pada kondisi umpan yang sama, juga untuk ratio solven dan variasi garam yang sama ternyata berpengaruh pada kadar produk yang dihasilkan, makin kecil reflux operasi kadar produk yang dihasilkan makin rendah (gb.12a-c) Berdasar kajian diatas maka reflux operasi dipilih berdasarkan pertimbangan energi dan jumlah plate yang dibutuhkan.



Gambar 12a. Operasi DE dengan R_D:0.5



Gambar 12b. Operasi DE dengan R_D:1.5



Gambar 12c. Operasi DE dengan R_D:2.5

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

- Penggunaan solven ethylene glycol dan garam sebagai bahan pelarut dalam operasi Distilasi Ekstraksi sangat efektif digunakan untuk memproduksi alkohol fuel grade dengan mempertimbangkan faktor teknis dan operasional yang ekonomis
- Garam yang ditambahkan dalam operasi DE ini memberikan efek yang cukup signifikan dalam peningkatan relatif volatilitas, garam dengan BM yang lebih tinggi memberikan harga relatif volatilitas yang lebih besar pada ratio solven yang sama, secara berurutan $K_2CO_3 > CaCl_2 > NaCl$. Hasil penelitian yang memberikan kadar alkohol $>99.9\%$ dicapai pada ratio S/F 0.9 untuk konsentrasi $NaCl : 0.15$ g/ml, $CaCl_2 : 0.75$ g/ml dan $K_2CO_3 : 0.05$ g/ml
- Pada ratio S/F yang rendah (0.3 – 0.8), efek garam lebih dominan terhadap operasi distilasi ekstraksi (harga α dan kadar produk), sebaliknya pada ratio > 1.12 solven lebih berpengaruh pada operasi distilasi. Secara teknis dan ekonomis dipilih kombinasi ratio solven : ethanol dan konsentrasi garam yang bisa memberi pengaruh besar, kondisi ini dicapai pada ratio S/F : 0.9 dengan penambahan garam 0.5–0.15 g/ml.
- Ethylene glycol sebagai solven dapat direcovery dan digunakan kembali dengan cara distilasi, untuk itu sekalipun solven yang banyak dapat meningkatkan relatif volatilitas, perlu dipertimbangkan kebutuhan energi untuk operasi pemurnian solvennya. Ratio S/F 0.9 dari

hasil penelitian ini sangat ideal karena selain dapat memberikan produk alkohol mendekati 100%, energi yang diperlukan tidak terlalu besar.

- ♣ Makin besar reflux operasi (R_D) jumlah plate makin kecil namun beban energi reboiler makin besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada reflux operasi (R_D) = 1.5 adalah yang terbaik dari rentang reflux 0.5 – 2.5 yang dicoba. keterkaitan Reflux dengan kebutuhan energi, jumlah plate dan kadar produk sebagai berikut : Reflux>>, Energi >> , Jumlah Plate <<, Kadar produk <<
- ♣ Energi yang diperlukan semakin menurun dengan bertambahnya ratio solven sebaliknya energi semakin meningkat pada operasi pemurniannya. dari fenomena ini maka dipilih ratio solven 0.9 dengan kebutuhan energi $Q = 821$ KJ/kg

Rekomendasi

- ♣ Distilasi Ekstraksi untuk produksi Alkohol **fuel grade** yang dilakukan dengan menggunakan solven ethylene glycol dan garam dapat menghemat energy dan mereduksi jumlah stage 35% lebih rendah dari distilasi konvensional
- ♣ Untuk memperoleh hasil yang diharapkan yaitu kadar produk alkohol > 99,8 % dapat dilakukan dengan menggunakan ratio S/F 0.9, konsentrasi garam K_2CO_3 : 0.05 g/ml, $CaCl_2$ 0.75 g/ml dan NaCl : 0.13 g/ml
- ♣ Garam NaCl , $CaCl_2$ dan K_2CO_3 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kemampuan dehidrasi yang baik dengan urutan $K_2CO_3 > CaCl_2 > NaCl$
- ♣ Reflux operasi (R_D) berkisar 1,5 keterkaitan Reflux dengan kebutuhan energi, jumlah plate dan kadar produk sebagai berikut : Reflux>>, Energi >> , Jumlah Plate <<, Kadar produk <<

Parameter Design	Perkiraan Design
Jumlah plate ideal	12
Reflux ratio (Rop)	1.5
Energi (KJ/kg)	821
Effisiensi tray % (asumsi)	35
Jumlah tray	34
Kadar produk Alkohol	99.9 %

DAFTAR PUSTAKA

- Bergland, Gary R and John G. Richardson, (1982), *Design for a Small-Scale Fuel Alcohol Plant* Chemical Engineering Progress, pp 60-67
- Boullanger E, (2002), *Absolute Alcohol Using Glycerine* piolenc@reporters.net
- Chianese, A, and Zinnamosca,F. (1990) *Ethanol dehydration b azeotropic distillation with mixed solvent entrainer*. The Chemical Engineering Journal 43. pp 59-65
- David, M.L, Hammaker, G.S, (1978), *Gasohol Economic Feasibility Study*, Chem. Eng. Prog. 1979, 58(8), 54
- Erick Kvaalen (2001), *Alcohol Distillation : Basic Principle, Equipment, Performance Relationships and Safety*, Purdue University
- Gill, I.D, A.M.Uyazani, J.L.Agullar, G Rodriguez. L.A Caicedo (2008) *Separation of ethanol and water by extractive distillation with salt and solvent as entrainer*. Braz. J. Chem.Eng, vol 25, no.1
- Ladisich, Michael R and Karen Dick (1995), *Dehydration of Ethanol : New Approach Gives Positive Energy Balance*, Science, vol 205, no.4409, hal 898-900
- Mathewson S.W. (1980), *The Manual for The Home and Farm Production of Alcohol Fuel*, J.A. Diaz Publications
- Robinson, C.S and E.R.Gilliland, (1975), *Element of Fractional Distillation*, Industrial Engineering Chemical (IEC), 168. 399.
- Sabarathinam, *Energy and Energy Savings In Distillation*, Annamalai University, Annamalainagar 608 002
- Zhou Rongqi and Duan Zhanting (1998), *Extractive Distillation with Salt in Solvent*, DepCheEng, Tshinghua University, Beijing