

EVALUASI DAN MODIFIKASI PROSES PEMISAHAN DAN PEMURNIAN ETANOL HASIL FERMENTASI

Widayat¹⁾, J.P., Sitompul²⁾ dan T.H. Soerawidjaja²⁾

Abstrak

Evaluasi dan modifikasi proses merupakan salah satu usaha untuk penghematan energi, yang dapat dilakukan dengan teknologi *pinch*. Evaluasi proses dilakukan terhadap tiga buah konfigurasi proses. Setiap konfigurasi proses terbentuk dari penggabungan proses Danish Distilleries dengan tiga buah sistem tiga kolom pemisahan etanol 95%. Konfigurasi proses 1 merupakan penggabungan proses Danish Distilleries dengan sistem pemisahan Othmer, penggabungan proses Danish Distilleries dengan proses Barbet sebagai konfigurasi proses 2 dan penggabungan proses Danish Distilleries dengan sistem pemisahan pada tekanan vakum sebagai proses 3. Kapasitas produksi etanol 95% ditetapkan 4×10^7 liter/tahun. Hasil evaluasi proses menunjukkan kebutuhan kukus minimal/ terkecil dicapai oleh proses 2, kemudian proses 1 dan proses 3; masing-masing mengkonsumsi 3,23; 4,11; 4,79 kg kukus 3 atm/liter etanol. Evaluasi lebih lanjut dengan $\Delta T_{\min}=10^\circ\text{C}$, peningkatan efisiensi energi diperoleh pada konfigurasi proses 1 sebesar 2,11% (jika evaluasi melibatkan reboiler kolom pelucutan dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid) dan 2,02% (jika tidak melibatkan) dan konfigurasi proses proses 2 (jika evaluasi tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid) dan 3 terjadi penurunan efisiensi energi

Kata kunci: evaluasi; modifikasi proses; teknologi *pinch*

Pendahuluan

Krisis energi yang terjadi pada dekade 1970-an mendorong masyarakat untuk menggunakan energi secara efisien, serta mempengaruhi penyediaan energi secara berkelanjutan dan penelitian. Penelitian banyak diarahkan pada pemanfaatan sumber energi secara efisien, seperti; perbaikan proses sehingga proses lebih efisien dalam penggunaan energi, penemuan sumber energi yang dapat terbarukan maupun pemanfaatan energi semaksimal mungkin. Perancangan proses dan modifikasi proses banyak berorientasi pada perancangan yang efisien dan terintegrasi.

Modifikasi proses umumnya menggunakan teknologi *pinch*. Industri yang telah menerapkannya antara lain industri petrokimia, pulp dan kertas, industri makanan, wiski dan bir, proses pemisahan dan pemurnian minyak bumi (Fraser dan Gillespie, 1992), industri semen (Suwono, dkk, 1996). Teknologi *pinch* ini pertama kali diperkenalkan oleh Linnhoff sekitar tahun 1979. Konsep ini sangat mudah dipahami karena metodenya sistematis. Cikal bakal teknologi *pinch* adalah merancang jaringan alat penukar panas. Cakupan ini kemudian diperluas hingga menyangkut integrasi kombinasi sistem-sistem panas dan tenaga (Townsend dan Linnhoff, 1983), rancangan sistem pemisahan, kolom distilasi integrasi (Linnhoff dkk, 1983) dan rancangan proses secara umum. Perancangan dengan teknik *pinch* ini akan mampu

menentukan target energi, yaitu energi minimum yang seharusnya diperlukan pada suatu jaringan alat penukar panas dan target kapital. Perkakas yang digunakan dalam teknologi *pinch* adalah kurva komposit, kurva *grand* komposit, perancangan metode *pinch*, pentargetan biaya kapital (Linnhoff, dkk, 1982).

Etanol, yang dikenal sebagai alkohol absolut merupakan salah satu sumber energi alternatif. Etanol diproduksi dari reaksi hidrasi etilen dan juga dapat diproduksi dengan cara fermentasi dari bahan mentah mono/disakarida (gula tebu, tetes tebu), bahan berpati (jagung, padi atau hasil-hasil pertanian lainnya) dan bahan selulosa (kayu, limbah pertanian). Etanol dapat digunakan sebagai bahan pencampur pada bensin yang lebih dikenal dengan "*gasohol*" [Keller, (1979)]. Kelebihan etanol sebagai sumber energi adalah sifatnya yang dapat diperbarukan, juga dapat mengurangi emisi akibat karbon monoksida [Bailey, (1996)].

Proses Pemisahan dan Pemurnian Etanol

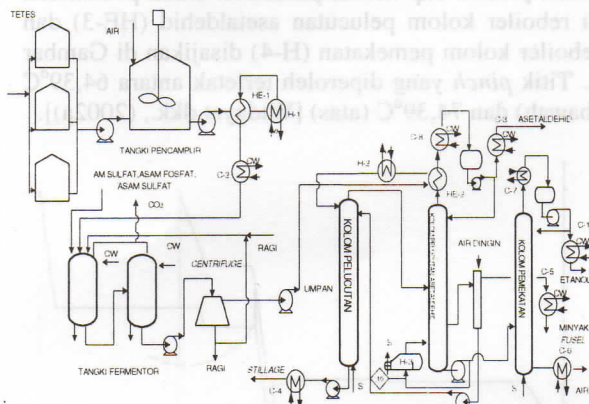
Di Indonesia produk etanol yang dikenal oleh masyarakat dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu etanol teknis/industri (konsentrasi 95% vol), spiritus (*denatured spirit*) konsentrasi etanol 88% (vol) dengan kandungan metanol sekitar 10% (vol) dan etanol absolut (konsentrasi 99,9% vol). Di dalam

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP, Jl. Prof. Soedharto, SH, Kampus Tembalang, Semarang 50239. E-mail : yayat_99@yahoo.com

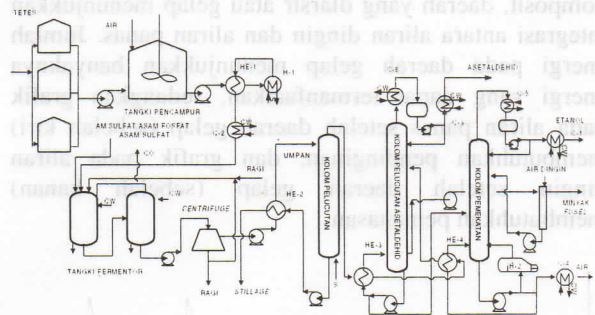
²⁾ Departemen Teknik Kimia ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

penelitian ini, proses pemisahan etanol yang dievaluasi adalah proses pemisahan etanol 95%, dimana etanol dianggap diproduksi dari fermentasi berbahan mentah tetes tebu. Kapasitas produksi etanol 95% ditetapkan sebesar 4×10^7 liter/tahun.

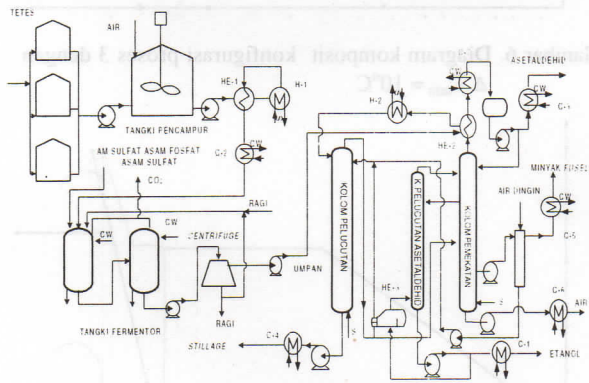
Ada 3 jenis konfigurasi proses pemisahan dan pemurnian etanol yang dievaluasi, masing-masing terdiri dari tahap fermentasi yaitu proses *Danish distilleries* dan proses pemisahan etanol 95%(v/v) sistem tiga kolom. Gambar 1 merupakan penggabungan proses *Danish Distilleries* dengan proses *Othmer* sebagai proses 1, Gambar 2 adalah proses 2, penggabungan proses *Danish Distilleries* dengan proses *Barbet* dan Gambar 3 adalah proses 3 dan merupakan penggabungan proses *Danish Distilleries* dengan proses pemisahan pada tekanan vakum



Gambar 1. Diagram alir konfigurasi proses 1 asal



Gambar 3. Diagram alir konfigurasi proses 3 asal



Gambar 2. Diagram alir konfigurasi proses 2 asal

Proses *Danish Distilleries* merupakan proses fermentasi etanol secara sinambung biasa, dimana media fermentasi masuk fermentor secara terus-menerus sedangkan produk diambil pula secara terus-menerus. Proses fermentasi dilakukan dalam tangki fermentor (tangki berpengaduk sinambung) berjumlah sekitar 2-3 buah. Ragi yang digunakan pada masing-masing fermentor, konsentrasinya sekitar 10 g/L. Etanol yang diperoleh mempunyai konsentrasi 8,4% (vol), dengan yield etanol 28,29 liter/100 Kg tetes [Kosaric, dkk., (1983)].

Proses pemisahan etanol 95% menggunakan proses distilasi. Pemisahan secara distilasi berdasarkan derajat penguapan (titik didih) senyawa-senyawa di dalam umpan. Demikian juga pada proses pemisahan dan pemurnian etanol, didasarkan pada derajat penguapan komponen etanol, air, eter, asetaldehid, dan minyak *fusel*. Dalam kondisi normal, eter dan asetaldehid mempunyai derajat penguapan paling besar, selanjutnya secara berurutan etanol, minyak *fusel* dan air. Senyawa alkohol tingkat tinggi mempunyai derajat penguapan lebih rendah dari etanol pada kondisi normal, namun dalam keadaan larutan dengan konsentrasi air besar, alkohol tingkat tinggi mempunyai derajat penguapan lebih besar dibandingkan dengan etanol [Kosaric, dkk. (1993)]. Secara umum proses pemisahan etanol hasil fermentasi meliputi; pelucutan produk fermentasi etanol dari air, pemisahan produk samping dan pengayaan produk etanol.

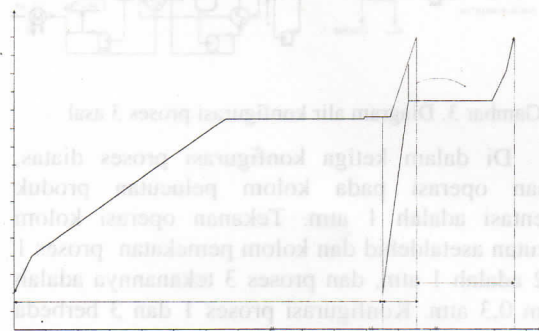
Di dalam ketiga konfigurasi proses diatas, tekanan operasi pada kolom pelucutan produk fermentasi adalah 1 atm. Tekanan operasi kolom pelucutan asetaldehid dan kolom pemekatan proses 1 dan 2 adalah 1 atm, dan proses 3 tekanannya adalah vakum 0,3 atm. Konfigurasi proses 1 dan 3 berbeda dengan proses 2 di pengambilan produk etanol 95% (v/v) dan pemisahan sisa air. Di dalam konfigurasi proses 1 dan 3, etanol 95% diperoleh sebagai produk atas kolom pemekatan dan proses 2 sebagai produk bawah kolom pemekatan. Rasio refluks dan jumlah tray teoretik disajikan di dalam Tabel 1.. Langkah pertama dalam evaluasi adalah melaksanakan prediksi kesetimbangan fasa uap-cair sistem etanol-air; yaitu dengan membandingkan prediksi dengan *Wilson*, *Margules*, dan *NRTL (Non Random Two Liquid)* serta persamaan sistem ideal (hukum Raoult) dengan hail terbaik prediksi dengan persamaan *Wilson* lebih tepat untuk prediksi. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan jumlah tray teoretik dan rasio refluks dilanjutkan perhitungan neraca massa dan energi. Pelaksanaan perhitungan menggunakan bantuan perangkat lunak *MATLAB*® dan *Excell*® [Widayat, dkk. (2002a)]

Tabel 1. Hasil perhitungan jumlah tray teoretik dan rasio refluks

Konfigurasi Proses	Jumlah tray aktual	Rasio refluks	Efisiensi tray total	Jumlah tray teoretik
1	30	2,79	0,443	14
	54	2,14	0,225	13
2	45	3,01	0,393	18
3	45	0,67	0,375	17
	54	18,38	0,250	14

Diagram Komposit

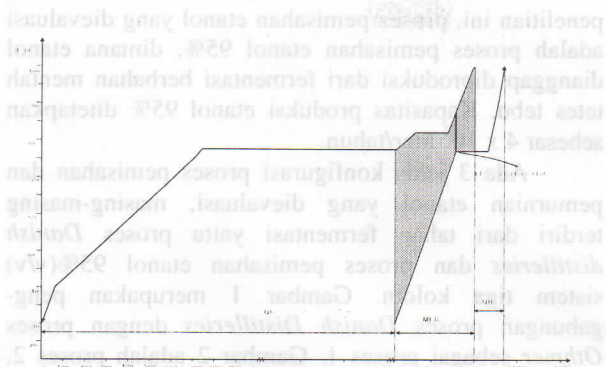
Diagram komposit merupakan metode grafik untuk mengevaluasi proses dengan teknologi *pinch*. Informasi yang diperoleh antara lain: letak ΔT_{min} (titik atas dan titik bawah), jumlah energi maksimum yang dapat dimanfaatkan, jumlah energi pemanasan, dan jumlah energi pendinginan. Di dalam diagram komposit, daerah yang diarsir atau gelap menunjukkan integrasi antara aliran dingin dan aliran panas. Jumlah energi pada daerah gelap menunjukkan banyaknya energi yang dapat dimanfaatkan, sedangkan grafik pada aliran panas setelah daerah gelap (sebelah kiri) membutuhkan pendinginan, dan grafik pada aliran dingin setelah daerah gelap (sebelah kanan) membutuhkan pemanasan.



Gambar 4. Diagram komposit konfigurasi proses 1 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$

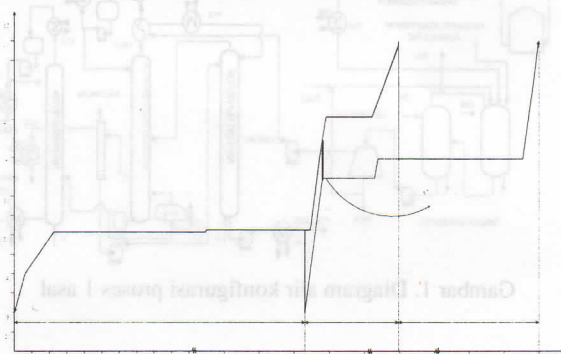
Diagram komposit proses 1 dengan tidak melibatkan aliran kukus pada kolom pelucutan dan kolom pemekatan disajikan di dalam Gambar 4.. Utilitas kukus di dalam kolom pelucutan dan kolom pemekatan digunakan secara kontak langsung atau tidak melibatkan reboiler. Titik *pinch* yang diperoleh pada diagram komposit ini adalah $82,8^{\circ}C$ untuk aliran dingin dan $92,8^{\circ}C$ untuk aliran panas.

Gambar 5. merupakan diagram komposit proses 2, yang disusun dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$. Semua aliran proses dilibatkan dalam penyusunan diagram komposit ini, demikian pula aliran reboiler kolom pelucutan asetaldehid. Aliran kukus ke kolom pelucutan dan kolom pemekatan tidak dilibatkan dalam penyusunan diagram komposit. Titik *pinch* pada proses dua terletak antara $77,71^{\circ}C$ (bawah) dan $87,71^{\circ}C$ (atas).

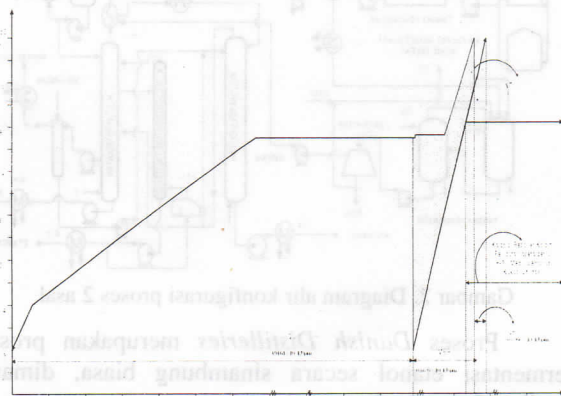


Gambar 5. Diagram komposit konfigurasi proses 2 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$

Diagram komposit proses 3 jika melibatkan aliran produk uap kolom pelucutan untuk pemanasan di reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3) dan reboiler kolom pemekatan (H-4) disajikan di Gambar 6. Titik *pinch* yang diperoleh terletak antara $64,39^{\circ}C$ (bawah) dan $74,39^{\circ}C$ (atas) [Widayat dkk., (2002a)].



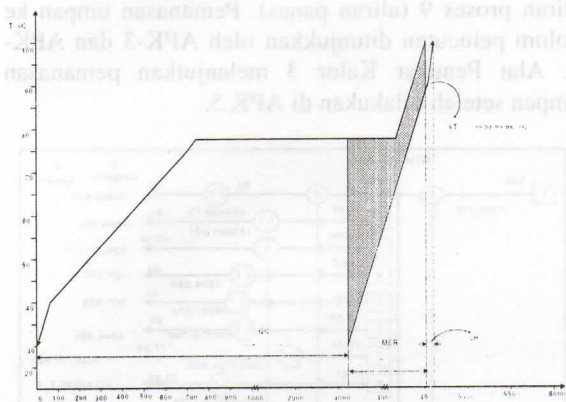
Gambar 6. Diagram komposit konfigurasi proses 3 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$



Gambar 7. Diagram komposit proses 1 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$ jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (H-3)

Pada kolom pelucutan produk fermentasi dan kolom pelucutan asetaldehid pemanasan menggunakan kukus (utilitas) dengan kontak secara langsung. Penulis dalam pelaksanaan evaluasi juga dilakukan

jika tidak melibatkan utilitas kukus. Hasil penyusunan diagram komposit jika evaluasi tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan dan kolom pemekatan, disajikan dalam Gambar 7; Gambar 8 dan Gambar 9..



Gambar 8. Diagram komposit proses 2 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$, jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3)

Gambar 7. merupakan diagram komposit untuk konfigurasi proses 1, jika evaluasi tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asteldehid (H-3). Gambar 8 merupakan diagram komposit untuk konfigurasi proses 2, jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid. Gambar 9. adalah hasil penyusunan diagram komposit untuk konfigurasi proses 3 jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pemekatan (HE-4, H-2) dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3). Titik pinch pada Gambar 7., Gambar 8., dan Gambar 9. terletak antara $89,98^{\circ}C$ (bawah) dan $99,98^{\circ}C$ (atas), yang selanjutnya digunakan untuk proses penjadohan aliran proses [Widayat, dkk. (2002c)].



Gambar 9. Diagram komposit proses 3 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$, jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pemekatan (H-2), (HE-4) dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3)

Evaluasi Kebutuhan Energi

Hasil perhitungan kebutuhan energi untuk masing-masing konfigurasi proses dan kebutuhan

energi pada proses asal disajikan di Tabel 2.. Hasil perhitungan pada konfigurasi proses 1, 2 dan 3 lebih banyak dibandingkan dengan data literatur yang diperoleh dari Kosaric, dkk, (1985). Kebutuhan kukus hemat energi adalah proses 2, kemudian proses 1 dan proses 3; masing-masing mengkonsumsi 3,23; 4,11; 4,79 kg kukus 3 atm/liter etanol. Perbedaan konsumsi kukus antara data literatur dengan hasil evaluasi, karena pemakaian rasio refluks di kolom pelucutan dan pemekatan berbeda. Rasio refluks yang digunakan di Kosaric, dkk, (1985) tidak ada penjelasan yang terperinci, sedangkan di dalam evaluasi proses rasio refluks diperoleh dari perhitungan tray teoretik. Besarnya energi untuk kolom distilasi tergantung kepada besarnya rasio refluks yang digunakan. Hal ini ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$Q_s = \Delta H_v (R_r + 1) D \dots\dots\dots (1.)$$

Tabel 2. Kebutuhan energi konfigurasi proses 1, 2 dan 3 asal dan hasil evaluasi

Jenis Proses	Kebutuhan Energi x 10 ⁻⁶ kJ/jam	
	Proses asal*)	Hasil perhitungan
1	42,84	21,96 + 24,29
2	28,21	2,04 + 32,18
3	20,90	34,81 + 13,12

*) : Kosaric, dkk., (1985)

Kebutuhan energi dari hasil perhitungan selanjutnya digunakan sebagai pembanding pada evaluasi lebih lanjut. Kebutuhan energi dari hasil evaluasi dengan diagram komposit meliputi; jumlah energi maksimum yang dapat dimanfaatkan (*Maximum Energy Recovery, MER*), energi pendinginan dan energi pemanasan seperti disajikan di Tabel 3.. Untuk hasil evaluasi (jumlah energi maksimum yang dapat dimanfaatkan dan jumlah energi pemanasan dan pendinginan) yang melibatkan reboiler kolom pelucutan dan kolom pelucutan asetaldehid ditampilkan pada baris pertama, sedangkan baris kedua untuk hasil evaluasi yang tidak melibatkan kolom pelucutan dan kolom pelucutan asetaldehid. Peningkatan jumlah energi yang termanfaatkan diperoleh pada konfigurasi proses 1 (baik evaluasi dengan melibatkan aliran reboiler kolom pelucutan dan kolom pelucutan asetaldehid maupun tidak) dan konfigurasi proses 2 jika evaluasi tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan dan kolom pelucutan asetaldehid. Peningkatan ini akan mengakibatkan penurunan jumlah energi pemanasan dan pendinginan. Hal ini

ditunjukkan adanya peningkatan efisiensi energi, seperti terlihat pada Tabel 3.. Peningkatan efisiensi energi dihitung dengan Persamaan 2..

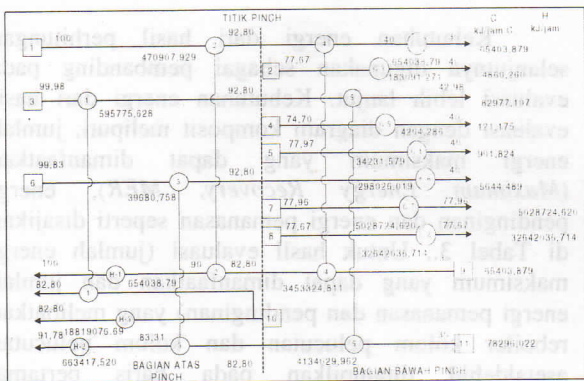
$$\eta = \frac{MER_{\text{hasil}} - MER_{\text{asal}}}{(Q_H + Q_C)_{\text{asal}}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.)$$

Tabel 3. Kebutuhan energi hasil evaluasi konfigurasi proses 1, 2 dan 3 (x 10⁻⁶ kJ/jam)

Jenis Proses	E. pemanasan	MER,	E. pendinginan	Peningkatan efisiensi %
1	20,14+24,29	8,69	39,09	2,11
	21,00 + 4,29	8,62	39,16	2,02
2	4,69 + 32,18	9,28	40,73	-2,2
	0,83 + 32,18	13,13	36,87	2,5
3	34,85+ 13,12	21,35	42,93	-0,045
	34,95+13,12	21,25	43,03	-0,154

Hasil Modifikasi

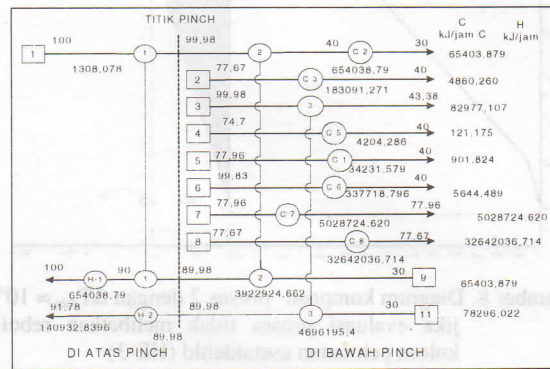
Hasil modifikasi proses berbentuk diagram grid dan diagram alir. Diagram *grid* merupakan hasil penjadwalan aliran proses setiap konfigurasi proses dan gabungan dari penjadwalan aliran di atas titik *pinch* dan di bawah titik *pinch*. Untuk proses penjadwalan aliran, menggunakan aturan dasar *pinch* (Linnhoff, dkk., 1982). Diagram alir yang ditampilkan hanya untuk hasil evaluasi yang menunjukkan adanya peningkatan efisiensi energi.



Gambar 10. Diagram *grid* hasil evaluasi proses 1 dengan $\Delta T_{\text{min}} = 10^\circ\text{C}$

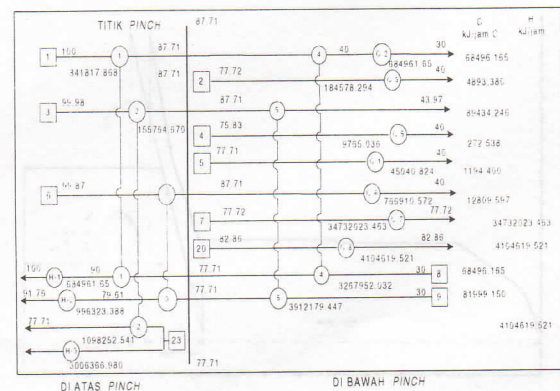
Hasil penjadwalan aliran secara lengkap untuk konfigurasi proses 1, disajikan dalam Gambar 10. dan Gambar 11. Gambar 10. merupakan jaringan Alat Penukar Kalor jika evaluasi proses melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (H-3) dan Gambar 11. adalah jaringan Alat Penukar Kalor jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (H-3). Alat Penukar Kalor (APK) yang merupakan

pertukaran kalor antar aliran proses dingin dan aliran proses panas, dinotasikan sebagai lingkaran yang diberi nomor dan dihubungkan oleh garis. Di dalam Gambar 10., APK-2 dan APK-4 digunakan untuk penukaran kalor dari aliran proses 1 (aliran dingin) ke aliran proses 9 (aliran panas). Pemanasan umpan ke kolom pelucutan ditunjukkan oleh APK-3 dan APK-5. Alat Penukar Kalor 3 melanjutkan pemanasan umpan setelah dilakukan di APK 5.



Gambar 11. Diagram *grid* hasil evaluasi proses 1 dengan $\Delta T_{\text{min}} = 10^\circ\text{C}$ jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (H-3)

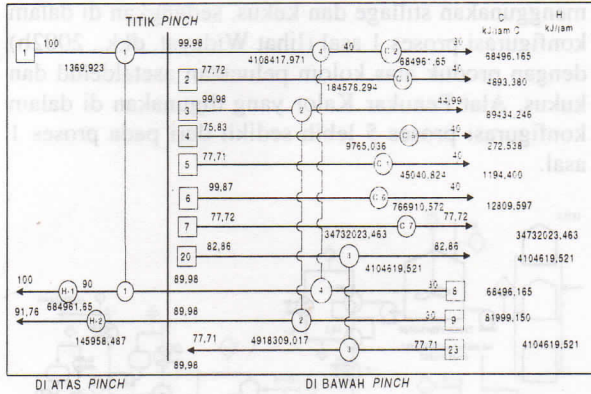
Gambar 11 merupakan jaringan Alat Penukar Kalor hasil penjadwalan aliran proses untuk konfigurasi proses 1 jika evaluasi tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (H-3). Reboiler tersebut dipanaskan dengan media pemanas kukus (utilitas). APK-1 dan APK-2 digunakan untuk pemanasan awal media fermentasi, sedangkan APK-3 untuk pemanasan umpan ke kolom pelucutan. Alat Penukar Kalor 1 dan 2 dapat dianggap menggantikan APK-1 pada konfigurasi proses 1 asal.



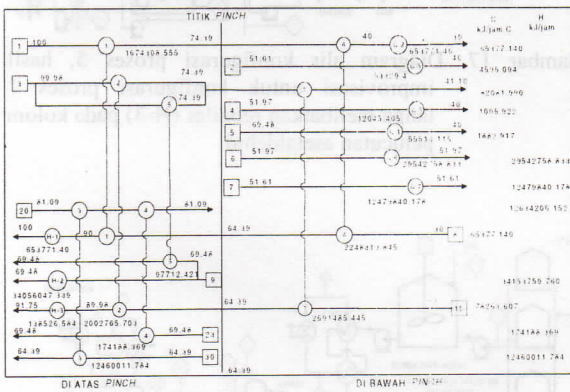
Gambar 12. Diagram *grid* hasil evaluasi proses 2 dengan $\Delta T_{\text{min}} = 10^\circ\text{C}$

Gambar 12. dan Gambar 13. merupakan jaringan Alat Penukar Kalor hasil penjadwalan aliran proses untuk konfigurasi 2. Jaringan Alat Penukar Kalor hasil evaluasi proses yang melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3) disajikan di

Gambar 12.. Reboiler kolom pelucutan asetaldehid dipanaskan dengan aliran 2 (*stillage*), APK-2 dan kukus (utilitas), H-3. Gambar 12. menunjukkan bahwa aliran 20 tidak dimanfaatkan kalornya bahkan harus didinginkan dengan *cooler* C-8, sehingga mengakibatkan jaringan Alat Penukar Kalor hasil evaluasi kurang efisien.



Gambar 13. Diagram *grid* hasil evaluasi proses 2 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$ jika evaluasi proses tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3)



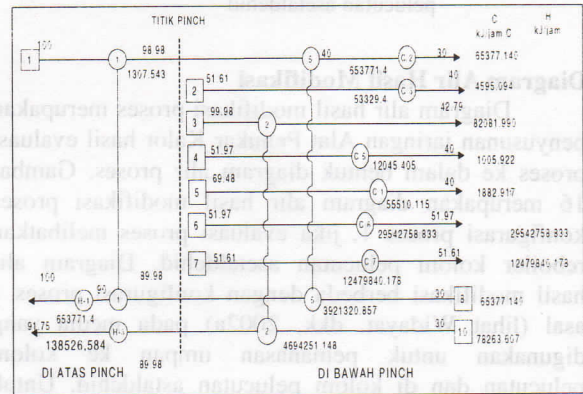
Gambar 14. Diagram *grid* hasil evaluasi proses 3 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$

Evaluasi proses terhadap konfigurasi proses 2 juga dilakukan dengan tidak melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3). Reboiler dipanaskan dengan sebagian produk uap kolom pelucutan atau $\Delta T_{min} = 5,15^{\circ}C$. Pemanasan ini mungkin dapat dilaksanakan karena telah digunakan pada proses *Othmer* Widayat, dkk. (2002a) dan pada penelitian yang dilakukan oleh Ficarella dan Laforgia, (1999).

Hasil penjadwalan aliran proses disajikan dalam Gambar 13.. APK-2 digunakan untuk penukaran kalor dari aliran *stillage* ke aliran umpan ke kolom pelucutan. APK-3 merupakan reboiler kolom pelucutan asetaldehid, pemanasan menggunakan sebagian produk uap kolom pelucutan atau aliran 20. Di dalam konfigurasi proses 2 asal, pemanasan umpan ke kolom pelucutan menggunakan kalor laten produk atas kolom

pemekatan, sedangkan hasil evaluasi menggunakan kalor yang dibawah *stillage* (APK-2). Untuk memperoleh temperatur umpan setelah dipanaskan di APK-2, pemanasan dilanjutkan dengan kukus di H-2. *Heater* (H-1) digunakan untuk memanaskan media fermentasi sampai $100^{\circ}C$. Jaringan Alat Penukar Kalor yang diperoleh pada konfigurasi proses 2 lebih sederhana. Jumlah Alat Penukar Kalor yang digunakan di diagram *grid* ini, lebih sedikit daripada diagram *grid* proses 2 asal, sehingga lebih efisien. Di dalam diagram *grid* hasil evaluasi, *cooler* yang digunakan berjumlah 7 buah, sedangkan di dalam diagram *grid* proses asal berjumlah 8 buah.

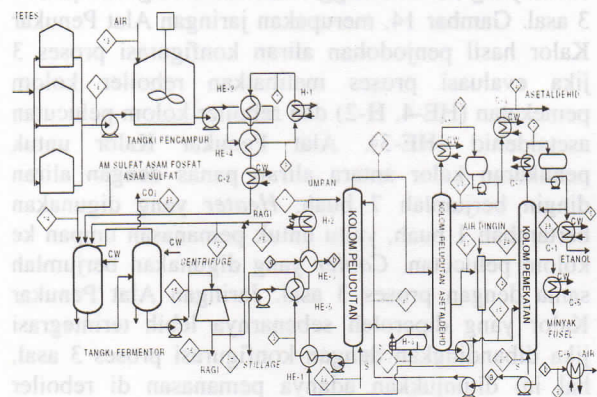
Evaluasi terhadap konfigurasi proses 3, bertujuan untuk mengetahui jaringan Alat Penukar Kalor yang cocok menggambarkan konfigurasi proses 3 asal. Gambar 14. merupakan jaringan Alat Penukar Kalor hasil penjadwalan aliran konfigurasi proses 3 jika evaluasi proses melibatkan reboiler kolom pemekatan (HE-4, H-2) dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3). Alat Penukar Kalor untuk penukaran kalor antara aliran panas dengan aliran dingin berjumlah 7 buah. *Heater* yang digunakan bertambah 1 buah, yaitu untuk pemanasan umpan ke kolom pelucutan. *Cooler* yang digunakan berjumlah sama dengan proses 3 asal. Jaringan Alat Penukar Kalor yang diperoleh sebenarnya lebih terintegrasi jika dibandingkan dengan konfigurasi proses 3 asal, hal ini ditunjukkan adanya pemanasan di reboiler kolom pemekatan dengan pemanas *stillage*, namun dengan tidak adanya penghematan energi tentunya hasil penjadwalan ini dapat diabaikan.



Gambar 15. Diagram *grid* hasil evaluasi proses 3 dengan $\Delta T_{min} = 10^{\circ}C$ jika evaluasi proses melibatkan reboiler kolom pemekatan (HE-4, H-2) dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3)

Untuk evaluasi konfigurasi proses 3 tanpa melibatkan reboiler kolom pemekatan (HE-4, H-2) dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3), memperoleh hasil yang tidak jauh berbeda dengan konfigurasi proses 3 asal. Perbedaan terletak di beda temperatur yang digunakan pada Alat Penukar Kalor 2. Untuk hasil evaluasi, pemanasan umpan ke kolom

pelucutan dengan memanfaatkan kalor aliran *stillage* mempunyai beda temperatur atau $\Delta T_{min}=10^{\circ}C$, sedangkan konfigurasi proses 3 asal $8,21^{\circ}C$. Hasil penjadohan aliran proses disajikan di Gambar 15. Jika memperhatikan penggunaan ΔT_{min} yang umum di industri petrokimia adalah $10^{\circ}C$, maka evaluasi konfigurasi proses 3 tanpa melibatkan reboiler kolom pemekatan (HE-4, H-2) dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3) lebih tepat menggambarkan proses daripada konfigurasi proses 3 asal. Jika penambahan *heater* tidak diinginkan maka asumsi umpan ke kolom pelucutan pada kondisi cair jenuh tidak benar, dengan demikian umpan masuk ke kolom pelucutan pada kondisi cair (temperatur $89,98^{\circ}C$) sehingga kukus yang digunakan bertambah.

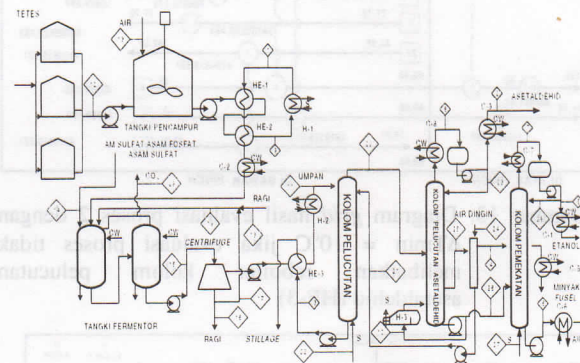


Gambar 16. Diagram alir konfigurasi proses 4, hasil improvisasi untuk konfigurasi proses 1 dengan melibatkan reboiler (H-3) pada kolom pelucutan asetaldehid

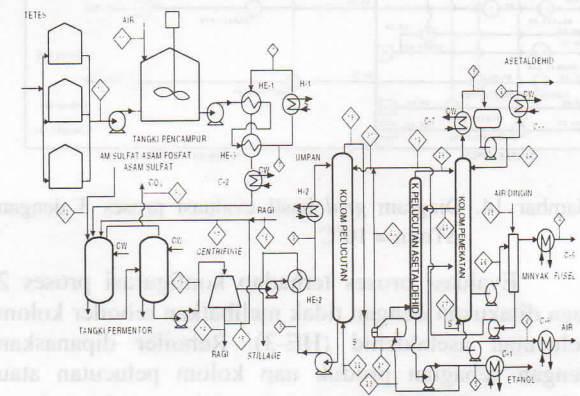
Diagram Alir Hasil Modifikasi

Diagram alir hasil modifikasi proses merupakan penyusunan jaringan Alat Penukar Kalor hasil evaluasi proses ke dalam bentuk diagram alir proses. Gambar 16 merupakan diagram alir hasil modifikasi proses konfigurasi proses 1, jika evaluasi proses melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid. Diagram alir hasil modifikasi berbeda dengan konfigurasi proses 1 asal (lihat Widayat, dkk., 2002a) pada media yang digunakan untuk pemanasan umpan ke kolom pelucutan dan di kolom pelucutan asetaldehid. Untuk konfigurasi proses 4, media yang digunakan untuk pemanasan umpan ke kolom pelucutan adalah stillage dan produk bawah kolom pemekatan dan selanjutnya dipanaskan dengan kukus (H-2), sedangkan di dalam konfigurasi proses 1 asal dengan produk atas kolom pelucutan asetaldehid dan kukus. Pemanasan di kolom pelucutan asetaldehid menggunakan aliran *stillage* dan kukus. *Stillage* digunakan untuk pemanasan di reboiler kolom pelucutan asetaldehid sampai *stillage* bertemperatur $92,90^{\circ}C$. *Stillage* yang masih panas, digunakan untuk pemanasan awal umpan ke kolom pelucutan (APK-5).

Gambar 17. merupakan diagram alir hasil modifikasi proses 1, jika evaluasi tidak melibatkan reboiler (H-3) pada kolom pelucutan asetaldehid (konfigurasi proses 5). Kolom pelucutan asetaldehid hanya dipanaskan dengan utilitas atau kukus. Konfigurasi proses 5 juga berbeda dengan konfigurasi proses asal di media pemanas umpan ke kolom pelucutan: konfigurasi proses 5, pemanasan menggunakan *stillage* dan kukus, sedangkan di dalam konfigurasi proses 1 asal (lihat Widayat, dkk., 2002b) dengan produk atas kolom pelucutan asetaldehid dan kukus. Alat Penukar Kalor yang digunakan di dalam konfigurasi proses 5 lebih sedikit dari pada proses 1 asal.



Gambar 17. Diagram alir konfigurasi proses 5, hasil improvisasi untuk konfigurasi proses 1 tanpa melibatkan reboiler (H-3) pada kolom pelucutan asetaldehid



Gambar 18. Diagram alir konfigurasi proses 6, hasil improvisasi untuk konfigurasi proses 2 tanpa melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3)

Gambar 18. merupakan diagram alir hasil improvisasi konfigurasi proses 2, jika evaluasi proses tanpa melibatkan reboiler kolom pelucutan asetaldehid (HE-3) (konfigurasi proses 6). Konfigurasi proses 6 berbeda dengan konfigurasi proses 2 asal (lihat Widayat, dkk., 2002b) di media untuk pemanasan umpan ke kolom pelucutan; di konfigurasi proses 6 menggunakan *stillage* dan

kukus, sedangkan proses 2 asal dengan produk atas kolom pelucutan asetaldehid dan kukus.

Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil analisis dan evaluasi konfigurasi proses pemisahan etanol 95% maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan energi paling hemat adalah proses 2, kemudian proses 1 dan proses 3; masing-masing mengkonsumsi 3,23; 4,11; 4,79 kg kukus bertekanan 3 atm untuk tiap liter etanol.
2. Peningkatan efisiensi diperoleh pada konfigurasi proses 1 dan konfigurasi proses 2 jika evaluasi tanpa melibatkan reboiler kolom pelucutan dan kolom pelucutan asetaldehid.
3. Hasil improvisasi atau modifikasi disajikan sebagai konfigurasi proses 4, proses 5 dan proses 6 (Gambar 16.; Gambar 17. dan Gambar 18.). Konfigurasi proses 4 dan 5 berbeda dengan proses 1 asal, dalam hal penggunaan media pemanas untuk memanaskan umpan ke kolom pelucutan dan reboiler kolom pelucutan asetaldehid. Konfigurasi proses 6 berbeda dengan konfigurasi proses 2 dalam hal penggunaan media pemanas untuk memanaskan umpan ke kolom pelucutan:

Daftar Pustaka

1. Aries, R.S., 1947, "Alcohol Industrial", *Encyclopedia of Chemical Technology*, editor R.E. Kirk dan D.F. Othmer, The Interscience Encyclopedia, Inc., Vol. 1, hal. 252-288
2. Bailey, B.K., 1996, "Performance of Ethanol as a Transportation Fuel" dalam *Hand Book on Bioethanol : Production and Utilization*, editor C.E., Wayman, Taylor & Francis, Washington, hal.37-60.
3. Fraser D.M. and N.E. Gillespie, , July 1992, "The Application of Pinch to Retrofir Energy Integration of an Entire Oil Refinar", *Trans IchemE*. Vol.70 Part A, pp. 395-406
4. Keller J.L. Mai, 1979, "Alcohols Motor Fuel?", *Hydrocarbon Processing* , hal. 127 -138
5. Kosaric, N., A., Wiczorek., G.P., Cosentino, R.J., Magee dan J.E., Prenosil, 1983, "Ethanol Fermentation", editor H.J., Rehm dan G., Reed., *Biotechnology*, Vol. 3., Verlag-Chemie, Weinheim, Jerman, hal. 257-385.
6. Kosaric, N., Z., Duvnjak, A., Farkas, H., Sahm, S., Bringer-Meyer, O., Goebel dan D., Mayer, 1993, "Ethanol" dalam *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, edisi ke-5, Vol. A9., Verlag-Chemie, Weinheim, Jerman, hal. 587-653
7. Ladisch, M.R. dan G.T., Tsao, 1982, "Vapor Phase Dehydration of Aqueous Alcohol Mixtures", *U.S. Patent No. 4.345.973*
8. Linnhoff, B., D.W., Townsend, D., Boland, G.F., Hewitt, B.E.A., Thomas, A.R., Guy and R.H., Marsland., 1982, "*User Guide on Process Integration for the Efficiency Use of Energy* ", Institution of Chemical Engineers, London.
9. Linnhoff B, H Dunford and R Smith, 1983, "Heat Integration of Distillation Columns into Overall Processes", *Chemical Engineering Science*, 38, No 8, pp 1175-1188
10. Linnhoff B., 1998, "Introduction to Pinch Technology" Linnhoff March, www.linnhoffmarch.com
11. Logsdon, J.E., 1994, "Ethanol", dalam *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, editor J.I. Kroschwitz dan M.H. Grant, John Wiley & Sons Inc., edisi 4, Vol. 9, hal. 812-860.
12. Ludwig, Ernest E., 1979, "*Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*", Gulf Publishing Company, Hosuton, Texas, Vol. 2 ha. 1-61
13. Maiorella, B.L., 1985, "Ethanol" dalam *Comphrehensive Biotechnology : The Principles, Application and Regulation of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine*, editor M. Moo-Young, Vol. 3, Pergamon Press Ltd., hal. 861-914.
14. Suwono, A., A.D.Pasek, T.Hardianto, N.Tandian dan J.Sitompul, Juni 1996, " *Application of PinchAnalysis in A Cement Production Plant*", The Nineth Symposium on Transport Phenomena in Thermal-Fluids Engineering, Singapore, pp 1128-1133
15. Townsend, D.W and B Linnhoff,1983, "Heat and Power Networks in Process Design, Part I: Criteria for Placement of Heat Engines and Heat Pumps in Process Networks", *AIChE Journal*, 29, No 5, pp 742-748
16. Widayat, J.P. Sitompul dan T.H. Soerawidjaja, 2002a "*Evaluasi Proses Pemisahan Dan Pemurnian Etanol Hasil Fermentasi Berdasar Teknologi Pinch*", Seminar Nasional "Kejuangan" Teknik Kimia 2002, UPN"Veteran" Yogyakarta
17. Widayat, J.P. Sitompul dan T.H. Soerawidjaja, 2002b "*Modifikasi Proses Pemisahan dan Pemurnian Etanol Hasil Fermentasi*" Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia, Universitas Indonesia, Jakarta,