

# Teknik MVRS Untuk Konservasi Energi Dalam Pengolahan Migas

Oleh :

E. Jasji

Suprpto Soemardan

## SARI

Salah satu hikmah yang bisa ditarik dari krisis energi ialah kesadaran atas nilai sumber daya energi dan atas kenyataan bahwa sumber daya yang tak diperbaharui itu bukan tidak terbatas. Sehubungan dengan itu dikembangkan berbagai upaya dan teknik yang dapat diterapkan untuk lebih menghemat pemakaian energi. Hal ini juga dilakukan di pabrik-pabrik pengolah energi seperti kilang-kilang minyak dan gas bumi.

Dalam tulisan ini dibahas teknik MVRS yang merupakan suatu teknik yang telah terbukti di berbagai tempat di dunia sebagai teknik yang dapat menghemat sebagian energi yang dikonsumsi untuk pengolahan migas, dan dicoba menerapkannya dalam perhitungan teknik ke suatu unit distilasi pengawabutanaan (debutanizer) yang digunakan dalam kilang gas bumi cair di Indonesia.

Dari perhitungan ini diketahui spesifikasi teknis dari modifikasi minor pada kilang tersebut dan perkiraan investasi yang diperlukan untuk itu.

Selanjutnya dilakukan perhitungan ekonomi untuk membandingkan untung-rugi dari penanaman biaya investasi itu dengan penghematan dalam biaya operasi. Penelitian ini menunjukkan untuk unit distilasi yang mengolah umpan pengawabutanaan (C4+) dengan kapasitas sekitar 171.500 lb/jam diperlukan penambahan investasi sebesar \$ 1,3 juta untuk pembelian kompresor, katup ekspansi dan penggantian alat pendidih. Investasi ini menghasilkan penghematan energi pada unit itu sebesar 59% atau penghematan biaya sebesar 36%; atau penghematan biaya netto sebesar \$ 200.000 sesudah pajak. Dengan demikian akan diperoleh pengembalian modal dalam waktu 6,5 tahun dengan laju pengembalian sebesar 14,2%. Di samping itu, sistem ini dapat menghindari kebutuhan akan pemasukan kukus (steam) dari luar sebanyak hampir 15.500 lb/jam dengan segala akibat positifnya terhadap konservasi sumber daya dan lingkungan.

## ABSTRACT

A blessing that might be derived from the energy crisis is the general realization of the true value of energy resources and the concern that such resources are not unlimited. A great deal of efforts has been expended in most industries in all countries, in attempt to conserve at least parts of the energy. This applies also to the energy processing industries such as oil and gas refineries.

This paper discusses MVRS as a technique which has shown its usefulness in reducing the energy consumption in petroleum refineries, and its possible application to a debutanizer distillation

unit in an LNG plant in Indonesia.

From the outcome of the computation it is possible to define the technical specifications for physical modifications which need to be performed on the unit, and thus the investment cost necessary to achieve such improvement.

The economic evaluation which follows permits the calculation of the profitability of such investment to be made, by comparing it to the savings in the operation cost. This study reveals that for a debutanizer distillation unit with a capacity of 171,500 lb/h of debutanizer feed (C4+), an investment cost of approximately \$ 1.3 million would be needed for the purchase and installation of a new compressor, two expansion valves, and a reboiler. This investment would yield a saving in energy consumption of 59%, or 36% in energy cost. The net cost saving of approximately \$ 200,000 would result in a rate of return of 14.2%, or a pay-out time of 6.5 years. In addition, the application of MVRS to the unit would relieve the need for external input of some 15,500 lb/h steam, with all its positive consequences to the resource and environmental conservation.

## I. PENDAHULUAN

Pengolahan minyak dan gas bumi (migas) mencakup dua macam operasi dasar: proses separasi (pemisahan) dan proses konversi, (pengubahan). Proses separasi digunakan untuk memisah-misahkan komponen-komponen yang sudah terdapat di dalam minyak atau gas bumi sehingga menjadi fraksi-fraksi yang diinginkan, atau untuk menyingkirkan komponen yang tidak dikehendaki dari fraksi migas sehingga didapatkan fraksi dengan kemurnian yang diinginkan.

Proses konversi, di lain pihak, digunakan untuk menciptakan komponen-komponen yang tadinya tidak ada di dalam migas asal, atau memperbanyak jumlahnya kalau komponen itu sudah ada melalui pengubahan molekul-molekul yang ada menjadi molekul yang lebih kecil (perengkahan), atau yang lebih besar (polimerisasi), atau yang mempunyai bentuk lain (isomerisasi). Proses konversi ini biasanya tidak berjalan seratus persen sempurna, sehingga biasanya masih harus diikuti lagi dengan proses separasi untuk pemisahan fraksi atau untuk pemurnian.

Dengan demikian, proses separasi merupakan proses yang sangat berperan dalam pengolahan migas. Di samping itu, proses separasi, terutama separasi termal, merupakan proses yang banyak menggunakan energi. Rush (1980) menaksir 25 sampai 40% dari keseluruhan energi yang dikonsumsi di dalam industri kimia dan petrokimia digunakan untuk proses-proses separasi. Humphrey (1982) menyimpulkan bahwa distilasi menggunakan 28% dari energi yang digunakan dalam pabrik kimia dan kilang minyak di Ame-

rika Serikat, atau setara dengan 800.000 bpd (barell per hari) minyak pada tahun 1975. Dengan meningkatnya harga energi dan kesadaran akan terbatasnya sumber daya energi yang tak terperbaharui, sebagaimana dicetuskan oleh krisis energi tahun 1973 dan tahun 1980, berbagai upaya dilakukan untuk menghemat energi untuk pengolahan migas. Mengingat sifatnya yang padat energi, proses separasi, terutama distilasi, telah banyak mendapatkan perhatian.

Salah satu teknik yang dikembangkan untuk menghemat energi dalam operasi pengolahan migas adalah penerapan teknik MVRS (*Mechanical Vapor Recompression System*, sistem pemampatan uap distilat secara mekanis). Dalam tulisan ini akan dibahas prinsip teknik MVRS, serta perhitungan teknik dan ekonomis terhadap kemungkinan penerapannya pada salah satu unit distilasi pada kilang pengolahan gas di Indonesia.

## II. PRINSIP TEKNIK MVRS

Operasi distilasi yang konvensional merupakan proses yang banyak memerlukan dan membuang energi karena sifatnya yang melakukan pemanasan dan penguapan diikuti dengan pendinginan dan kondensasi. Untuk pemanasan dan penguapan diperlukan energi dari luar yang dimasukkan melalui bahan bakar pada tanur (*furnace*) atau kukus (*steam*) pemanas dalam pendidih (*reboiler*). Uap bahan yang terbentuk di dalam pendidih, setelah mengalami pertukaran kalor dan pertukaran massa di sepanjang kolom fraksionasi, akhirnya sampai ke puncak kolom, di mana sekarang tinggal fraksi ringan, yang telah bersih dari fraksi berat, yang masih

berbentuk uap pada suhu puncak kolom. Uap dari puncak kolom ini dijadikan distilat cair dengan menarik energi latennya di kondensor dengan bantuan media pendingin. Media pendingin ini, setelah mengambil energi dari distilat, kemudian membuang energi yang diambilnya itu ke lingkungan. Hal ini biasanya dilakukan dalam menara pendingin kalau media pendingin itu akan digunakan kembali (lingkar tertutup), atau dibuang ke sungai atau badan air lingkungan lainnya kalau sebagai media pendingin digunakan air alam sekali pakai, atau ke udara sekitar apabila pendinginan dilakukan dengan tiupan udara.

Operasi penggunaan kalor dari lingkungan dan pembuangan kalor ke lingkungan merupakan proses yang mahal bagi pabrik yang melakukannya, sehingga timbul upaya untuk langsung membuang energi dari uap distilat dengan langsung memanfaatkannya di dalam pendidih yang memerlukan energi itu. Hal ini tentu hanya bisa dilaksanakan kalau kondisi suhu memungkinkan terjadinya aliran energi ke arah yang dikehendaki, sesuai dengan hukum termodinamika.

Hal ini dilakukan dengan meningkatkan tekanan uap-distilat sampai suhunya cukup tinggi untuk mendidihkan produk di dalam pendidih. Dengan menggunakan kompresor anjakan positif sekrup putar (*positive displacement rotary screw compressor*) yang hemat energi, hal ini biasanya dapat dicapai. Menurut O'Neill dan kawan-kawan (1985) kebutuhan energi untuk pompa kalor rekompresi ini bisa kurang dari separuh kebutuhan distilasi konvensional. Bojnowski dan Hanks (1970) menemukan bahwa dengan cara ini dapat dihemat 10 sampai 15% energi yang biasanya dikonsumsi di dalam alat pendidih. Masalahnya, dengan demikian, menjadi masalah ekonomi yang membandingkan untung rugi daripada penghematan biaya operasi dan penambahan biaya investasi untuk kompresor dan perubahan sistem perpipaan.

## 1. Tipe Rancang

Pada dasarnya ada tiga macam rancang (desain) sistem MVRS. Masing-masing rancang itu merupakan modifikasi atas rancang distilasi konvensional (Gambar 1a) dengan mengoptimisasikan sistem energinya.

MVRS rancang pertama ialah dengan rekompresi (pemampatan ulang) uap distilat yang

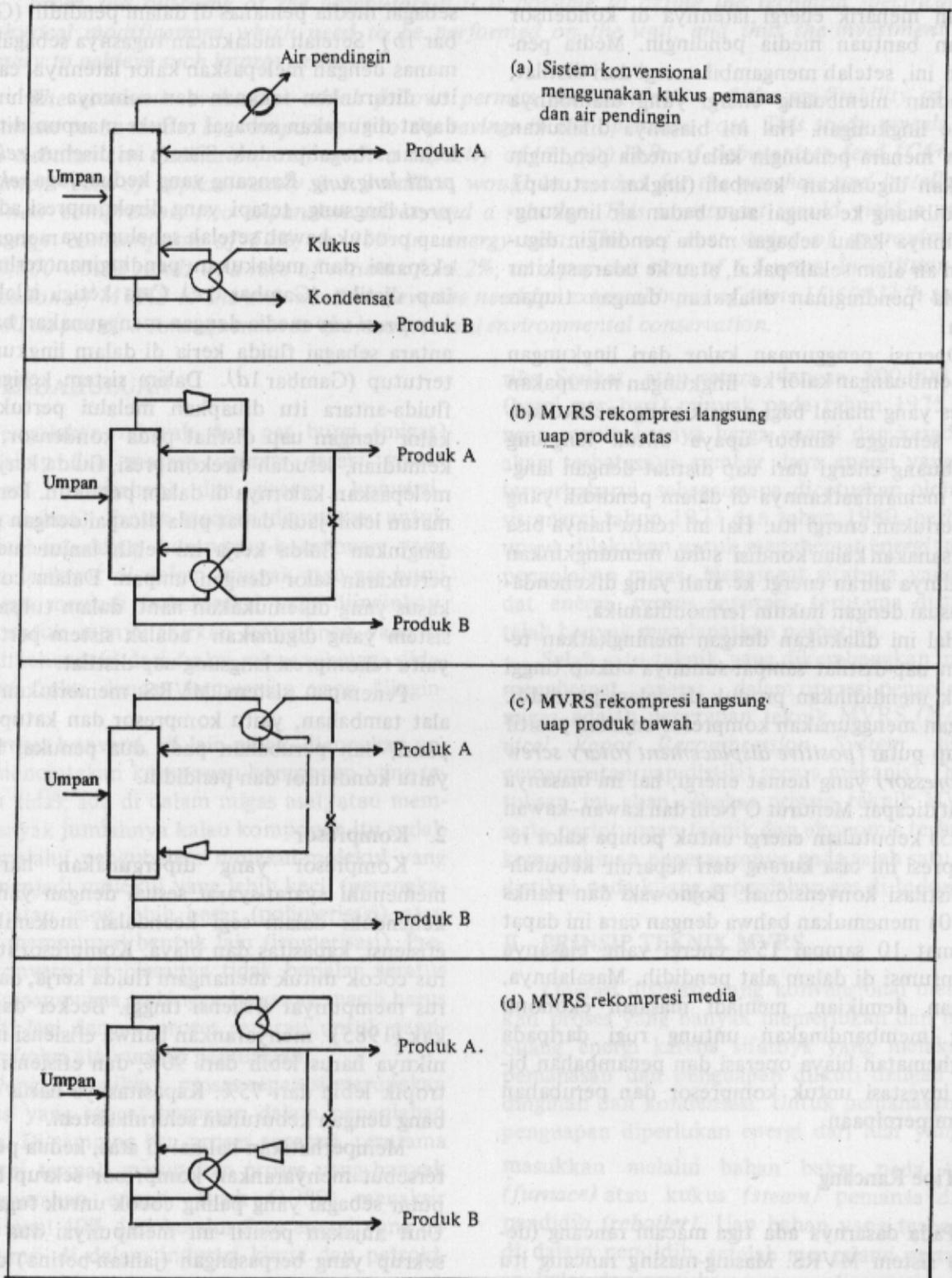
digunakan secara langsung sebagai fluida kerja, yaitu sebagai media pemanas di dalam pendidih (Gambar 1b). Setelah melakukan tugasnya sebagai pemanas dengan melepaskan kalor latennya, cairan itu diturunkan tekanan dan suhunya sehingga dapat digunakan sebagai refluks maupun ditarik keluar sebagai produk. Sistem ini disebut *rekompresi langsung*. Rancang yang kedua, juga *rekompresi langsung*, tetapi yang direkompresi adalah uap produk-bawah setelah sebelumnya mengalami ekspansi dan melakukan pendinginan terhadap uap distilat (Gambar 1c). Cara ketiga ialah *rekompresi uap* media dengan menggunakan bahan antara sebagai fluida kerja di dalam lingkungan tertutup (Gambar 1d). Dalam sistem ketiga ini fluida-antara itu diuapkan melalui pertukaran kalor dengan uap distilat pada kondensor, dan kemudian, sesudah direkompresi, fluida kerja itu melepaskan kalornya di dalam pendidih. Penghematan lebih jauh dapat pula dicapai dengan mendinginkan fluida kerja ini lebih lanjut melalui pertukaran kalor dengan umpan. Dalam contoh kasus yang dikemukakan nanti dalam tulisan ini sistem yang digunakan adalah sistem pertama, yaitu rekompresi langsung uap distilat.

Penerapan sistem MVRS memerlukan dua alat tambahan, yaitu kompresor dan katup ekspansi, dan perubahan pada dua penukar kalor yaitu kondensor dan pendidih.

## 2. Kompresor

Kompresor yang dipergunakan haruslah memenuhi syarat-syarat sesuai dengan yang dikehendaki dalam segi keandalan mekaniknya, efisiensi, kapasitas dan biaya. Kompresor itu harus cocok untuk menangani fluida kerja, dan harus mempunyai efisiensi tinggi. Becker dan Zakak (1985) menyarankan bahwa efisiensi mekaniknya harus lebih dari 90%, dan efisiensi isentropik lebih dari 75%. Kapasitasnya harus seimbang dengan kebutuhan seluruh sistem.

Memperhatikan hal-hal di atas, kedua penulis tersebut menyarankan kompresor sekrup heliks putar sebagai yang paling cocok untuk tugas ini. Unit anjakan positif ini mempunyai dua buah sekrup yang berpasangan (jantan-betina) di dalam rumah stasioner yang mempunyai lubang pemasuk dan lubang pengeluar yang tidak memerlukan katup khusus. Alat ini tersedia dalam berbagai ukuran.



Gambar 1 – Skema unit distilasi konvensional dan tiga tipe rancang MVRS

### 3. Katup

Dalam sistem ini diperlukan suatu katup untuk mengatur kembali tekanan arus distilat yang telah melakukan tugas pemanasan di dalam pendidih menjadi tekanan dan suhu yang lebih rendah yang cocok untuk digunakan sebagai refluks. Jadi, katup ini ialah suatu katup ekspansi yang bekerja secara isoentalpi.

Jenis katup yang dipilih haruslah memperhatikan jenis tugas dan koefisien aliran yang bergantung pada jenis dan kondisi aliran yang ditangani, yang tercermin nanti di dalam koefisien katup keseluruhan. Di samping itu, kemudahan operasi, pemeliharaan dan biaya tentu memegang peranan penting dalam menentukan pilihan katup. Dalam contoh penerapan sistem MVRS yang disajikan di sini, pilihan jatuh pada katup bola (globe).

### 4. Kondensor

Kondensor yang dalam sistem konvensional digunakan untuk menarik kalor laten dari uap distilat dan membuat cairan distilat untuk digunakan sebagai refluks dan produk, sekarang bertugas menyempurnakan kondensasi yang telah dilaksanakan di dalam pendidih dan mendinginkan lebih lanjut sehingga cocok untuk digunakan sebagai terfluks dan produk.

Jadi kondensor ini akan mendapat peringan tugas sehingga pada umumnya kondensor yang ada masih dapat digunakan. Dalam kasus yang disajikan di sini kondensor yang ada adalah kondensor kipas udara bersirip (*fin fan*) yang menggunakan jujut induksi (*induced draft*). Kondensor ini akan beroperasi dengan pengurangan daya penggerak pada kipas; dan di sinilah terletak salah satu penghematan dari teknik MVRS ini.

### 5. Pendidih

Pendidih (*reboiler*) di sini menggunakan media pemanas yang berbeda sama sekali dari pendidih dalam sistem konvensional. Dalam distilasi tanpa MVRS, pendidih biasanya menggunakan kukus (*steam*) yang disediakan dari luar dan merupakan suatu masukan energi dari luar yang harus dibiayai. Dalam teknik MVRS, sebagai media pemanas digunakan uap distilat yang telah direkompresi sehingga tidak diperlukan

lagi pemasukan kalor dari luar. Selain dari itu agaknya tidak ada kekhasan lain mengenai unit pendidih ini. Tetapi karena perbedaan media pemanas yang dipakai dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang lebih rendah, unit pendidih yang diperlukan mungkin lebih besar dari yang konvensional menggunakan kukus.

## III. KAJIAN KASUS

Teknik MVRS ini dicoba dikaji di sini kemungkinan penerapannya terdapat suatu unit distilasi pengawabutanaan pada suatu kilang pembuatan gas bumi cair (*liquefied natural gas*, LNG). Kolom distilasi ini memfraksionasi suatu arus yang berasal dari produk bawah kolom pengawapropanaan (*depropanizer*) untuk memisahkan butana (C4) dari hidrokarbon yang lebih berat (C5+). Butana keluar sebagai produk atas kolom sedang pentana dan yang lebih berat sebagai produk bawah. Skema unit distilasi ini ditunjukkan pada Gambar 2 beserta kondisi operasinya pada Tabel 1.

Dengan menerapkan teknik MVRS, skema ini dimodifikasi menjadi seperti pada Gambar 3. Dalam hal ini uap distilat dari puncak kolom dimampatkan dengan kompresor dan digunakan secukupnya pada pendidih. Sisanya diekspansi melalui katup ekspansi dan setelah itu baru dikondensasikan pada kondensor. Cairan distilat ini sebagian digunakan sebagai refluks dan sisanya ditarik sebagai produk. Kondisi operasi dan aliran-aliran baru yang terdapat akibat modifikasi ini terlihat pada Tabel 2.

Untuk sistem baru ini perlu dilakukan perhitungan-perhitungan rekayasa untuk menentukan beban dan kapasitas kompresor, pendidih, dua buah katup ekspansi serta penentuan beban kondensor. Hasil perhitungan rekayasa ini berupa spesifikasi peralatan ditunjukkan pada Tabel 3, 4 dan 5. Perubahan ini akan melibatkan tambahan biaya investasi US \$ 1.348.135, sebagaimana diperinci pada Tabel 7.

Modifikasi dan penerapan MVRS menyebabkan terjadi perubahan dalam konsumsi energi. Kukus (*steam*) yang tadinya diperlukan untuk pendidih (*reboiler*) sekarang tidak diperlukan lagi. Akan tetapi, di lain pihak, sekarang diperlukan tambahan energi listrik untuk operasi kompresor. Konsumsi pada kondensor kipas udara berkurang karena bebannya lebih ringan. Namun

**Tabel 1**  
**Karakteristik Arus pada Sistem Semula**

Arus No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identitas Arus	Umpan	Uap dari puncak kolom masuk kondensor.	Cairan keluar kondensor	Refluks masuk kolom	Produk atas	Cairan masuk pendidih	Arus keluar pendidih	Kukus pemanas masuk pendidih	Kondensat keluar pendidih	Produk bawah kolom
Laju alir, lb/jam	171 495	118 922	118 922	104 071	14 851	227 717	227 717	14 476	14 476	156 644
Suhu, F	192,74	135,00	91,04	135	135	208	212	366	366	208
Tekanan, psia	100,02	85,8	81,4	85	85	94,6	93,6	164	161,5	94,6
Fase	Cair	Gas	Cair	Cair	Cair	Cair	Dua Fase	Gas	Cair	Cair
Komposisi, % mol										
iC4	21,29	59,34	59,34	59,34	59,34	10,20	10,20	-	-	0,09
nC4	36,19	40,66	40,66	40,66	40,66	17,41	17,41	-	-	1,49
iC5	15,42	-	-	-	-	26,77	26,77	-	-	34,64
nC5	9,73	-	-	-	-	16,89	16,89	-	-	22,83
C6+	17,37	-	-	-	-	28,73	28,73	-	-	40,95

**Tabel 2**  
**Karakteristik Arus pada Penerapan MVRs**

Arus No.	1	2	3	4	5	6	7
Identitas Arus	Umpan	Uap dari puncak kolom (masuk kompresor)	Uap dari puncak kolom (keluar kompresor)	Uap keluaran kompresor masuk tabung pendidih	Uap distilat yang kondensasi setelah lewat tabung pendidih	Uap keluaran kompresor tidak melewati tabung pendidih (masuk KE 1)	Uap keluaran kompresor tidak melewati tabung pendidih (keluar KE 1)
Laju alir, lb/jam	171 495	118 922	118 922	112 184	112 184	6 738	6 738
Suhu, F	192,74	135,00	235,00	235,00	231,18	235,00	232,20
Tekanan, psia	100,02	85,80	311,45	311,45	308,95	311,45	308,95
Fase	Cair	Gas	Gas	Gas	Cair	Gas	Gas
Komposisi, % mol							
iC4	21,29	59,34	59,34	59,34	59,34	59,34	59,34
nC4	36,19	40,66	40,66	40,66	40,66	40,66	40,66
iC5	15,42	-	-	-	-	-	-
nC5	9,73	-	-	-	-	-	-
C6+	17,37	-	-	-	-	-	-

Arus No	8	9	10	11	12	13	14	15
Identitas Arus	Aliran gabungan masuk katup KE2)	Aliran keluar KE 2 (masuk kondensor)	Aliran keluar an kondensor	Refluks masuk kolom	Produk atas (distilat cair)	Hidrokarbon masuk selongsong pendidih	Hidrokarbon keluar selongsong pendidih	Produk bawah kolom
Laju alir, lb/jam	118 922	118 922	118 922	104 071	14 851	227 717	227 717	156 644
Suhu, F	231,18	116,00	91,04	135,00	135,00	208	212	208
Tekanan, psia	308,95	85,80	81,40	85,00	85,00	94,6	93,6	94,6
Fase	Dua Fase	Dua Fase	Cair	Cair	Cair	Cair	Dua Fase	Cair
Komposisi, % mol								
iC4	59,34	59,34	59,34	59,34	59,34	10,20	10,20	0,09
nC4	40,66	40,66	40,66	40,66	40,66	17,41	17,41	1,49
iC5	-	-	-	-	-	26,77	26,77	34,64
nC5	-	-	-	-	-	16,89	16,89	22,83
C6+	-	-	-	-	-	28,73	28,73	40,95

**Tabel 3**  
**Spesifikasi Kompresor untuk MVRS**

Type	Anjakan positif sekrup putar (positif displacement helical screw)
Penggerak	Motor listrik
Daya motor	2027 hp (1510 kW)
Daya poros kompresor	1860 BHP
Kecepatan rotor	2400 rpm
Diameter rotor	16,1 in.

**Tabel 4**  
**Spesifikasi katup ekspansi untuk MVRS**

	KE 1	KE 2
Jenis	Globe	Globe
Tipe	Dudukan ganda	Dudukan ganda
Ukuran	1"	2"
Karakteristik	Persentase sama	Persentase sama
Koefisien	11	50
Material	Perunggu	Perunggu
Tekanan operasi		
Masuk, psia	311,45	308,95
keluar, psia	308,95	85,80
Suhu operasi		
masuk, F	235,00	231,18
keluar, F	232,2	116
Fase	Gas	Dua Fase

**Tabel 5**  
**Spesifikasi pendidih untuk MVRS**

Diameter selongsong	36 in
Jumlah tabung	920
Jumlah lintasan tabung	8
Panjang tabung	26 ft
Diameter-luar tabung	0,75 in
Diameter-dalam tabung	0,62 in
Susunan tabung	1 in
Luas permukaan perpindahan kalor	4700 ft <sup>2</sup>

**Tabel 6**  
**Spesifikasi Pipa untuk MVRS**

	Pipa masuk kompresor	Pipa keluar kompresor masuk pendidih	Pipa keluar pendidih masuk kondensor	Pipa langkau
Ukuran nominal, in	12	5	5	1,5
Schedule	40	40	40	40
Material	Baja karbon	Baja karbon	Baja karbon	Baja karbon

**Tabel 7**  
**Biaya investasi untuk retrofit MVRS**

Harga alat :	US \$
Kompresor + motor <sup>1)</sup>	500 000
Reboiler <sup>2)</sup>	40 380
Katup ekspansi <sup>3)</sup>	3 186
Pipa <sup>4)</sup>	3 184
Sambungan pipa <sup>3)</sup>	2 168
	<hr/>
	548 915
Taksiran harga terpasang <sup>5)</sup>	<u><u>1 348 135</u></u>

**Catatan :**

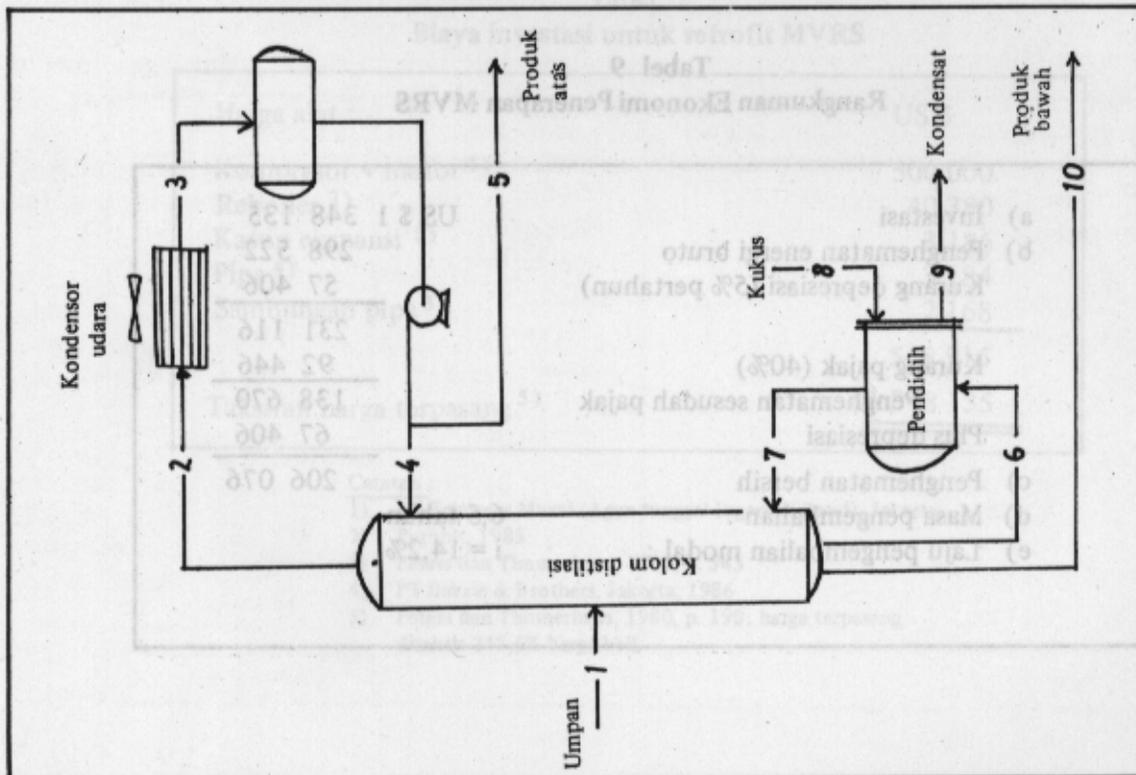
- 1) PT Fajarmas Murni (Agen tunggal Ingersoll Rand), Jakarta
- 2) Purohit, 1983
- 3) Peters dan Timmerhaus, 1980, p. 543
- 4) PT Bakrie & Brothers, Jakarta, 1986
- 5) Peters dan Timmerhaus, 1980, p. 190; harga terpasang ditaksir 245,6% harga beli.

**Tabel 8.**  
**Penghematan energi pada MVRS**

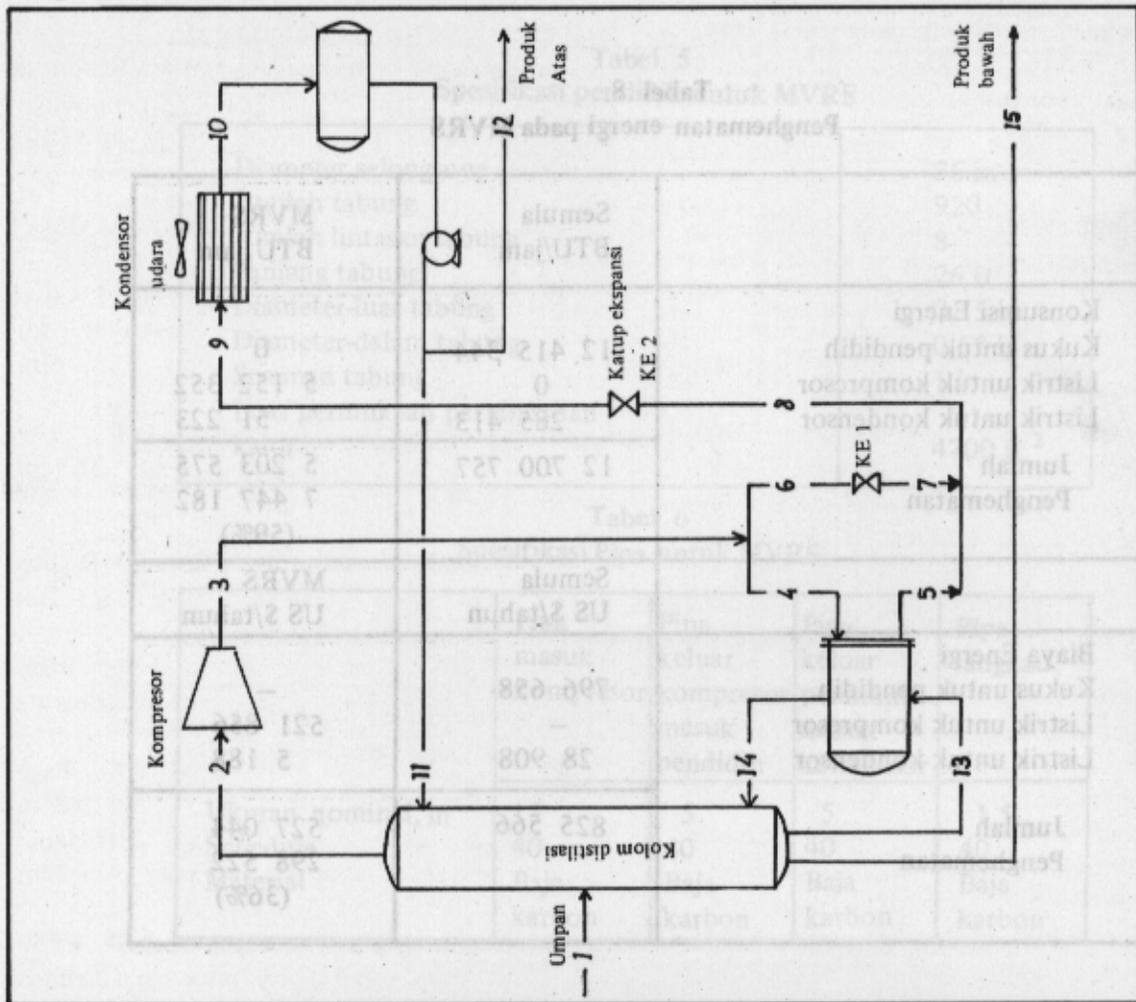
	Semula BTU/jam	MVRS BTU/jam
Konsumsi Energi		
Kukus untuk pendidih	12 415 344	0
Listrik untuk kompresor	0	5 152 352
Listrik untuk kondensor	285 413	51 223
<b>Jumlah Penghematan</b>	<b>12 700 757</b>	<b>5 203 575</b> <b>7 447 182</b> <b>(59%)</b>
	Semula US \$/tahun	MVRS US \$/tahun
Biaya Energi		
Kukus untuk pendidih	796 658	-
Listrik untuk kompresor	-	521 856
Listrik untuk kondensor	28 908	5 188
<b>Jumlah Penghematan</b>	<b>825 566</b>	<b>527 044</b> <b>298 522</b> <b>(36%)</b>

**Tabel 9**  
**Rangkuman Ekonomi Penerapan MVRS**

a) Investasi	US \$ 1 348 135
b) Penghematan energi bruto	298 522
Kurang depresiasi (5% pertahun)	57 406
	<hr/>
	231 116
Kurang pajak (40%)	92 446
Penghematan sesudah pajak	138 670
Plus depresiasi	67 406
	<hr/>
c) Penghematan bersih	206 076
d) Masa pengembalian :	6,5 tahun
e) Laju pengembalian modal :	i = 14,2%



Gambar 2 – Skema unit distilasi pengawabutanaaan keadaan semula (konvensional)



Gambar 3 – Skema unit distilasi pengawabutanaaan dengan penerapan teknik MVRs

secara menyeluruh, terdapat penghemat biaya energi sebesar hampir \$ 300.000 setahun sebagaimana terlihat pada Tabel 8.

#### IV. EKONOMI

Akibat menyeluruh dari sistem ini terhadap biaya dan ekonomi operasi adalah diperolehnya penghematan netto sebesar lebih dari \$ 200.000 per tahun sesudah pajak, sebagaimana diperinci dalam Tabel 9. Penghematan ini dapat menghasilkan masa pengembalian modal dalam 6,5 tahun (*pay-out time*). Laju pengembalian modal, dihitung dengan menggunakan tabel nilai sekarang untuk penerimaan bersih selama 20 tahun masa operasi unit itu (Mayer, 1978), adalah 14,2%.

#### V. KESIMPULAN

Kajian kasus yang dikemukakan menunjukkan keuntungan ekonomi dari penerapan teknik MVRS sebagai modifikasi terhadap kilang yang telah beroperasi (*retrofit*)

Namun, selain dari keuntungan ekonomi yang dapat dikuantifikasikan dalam dolar seperti di atas adalah pengaruh positif terhadap lingkungan. Dalam sistem ini dapat dihindarkan pemakaian kukus sebanyak hampir 15.500 lb/jam yang berarti berkurangnya limbah yang harus dibuang ke badan-badan air alam yang dapat mengakibatkan pencemaran.

Selain dari itu penghematan pemakaian energi (konservasi energi), senilai 36% di sini, adalah suatu tindakan yang sesuai dan mendukung Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) di Indonesia dan merupakan sesuatu yang positif

bagi umat manusia pada umumnya.

Dengan demikian, penggunaan MVRS untuk meningkatkan efisiensi energi kilang pengolahan dan pabrik-pabrik patut dipertimbangkan secara serius dan di mana perlu segera diterapkan.

#### VI. RUJUKAN

1. Becker, F.E. dan Zakak, A.I., 1985, Recovering Energy by Mechanical Vapor Recompression, *Chem. Eng. Progress*, Juli, hlm. 45-49.
2. Bojnowski, J.H. dan Hanks, D.L., 1979, Low Energy Separation Process, *Chem. Eng.*, 7 Mei 1979, hlm. 67.
3. Humphrey, J.L., 1982, New Concept Reduce Process Energy, *Hydroc. Processing*, Juli, hlm. 141-144.
4. Mayer, R.C., 1978 "Capital Expenditure Analysis", Waveland Press, Prospect Heights, Ill.
5. O'Neill, P.S., Wisz, M.W., Ragi, E.G., Page, E.H., dan Antonelli, R., 1985, Vapor Recompression System with High Efficiency Components, *Chem. Eng. Progress*, Juli, hlm. 57-62.
6. Peters, M.S. dan Timmerhaus, K.D., 1980, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", eds. 3, McGraw Hill International Book Company, New York.
7. Purohit, G.P., 1983, Estimating Cost of Shell and Tube Exchanger, *Chem. Eng.*, 22 Agustus 1983, hlm. 56-67.
8. Rush, Jr., F.E., 1980, Energy Saving Alternatives to Distillation, *Chem. Eng. Progress*, Juli hlm. 44.