

# Simulasi Dinamik Pengoperasian Kompresor Sentrifugal Multistage untuk Mengatasi Penurunan Tekanan Sumur Gas

## *Dynamic Simulation of a Multistage Centrifugal Compressor Operation to Overcome a Pressure Drop in a Gas Well*

<sup>1,2</sup>Meiti Pratiwi, <sup>2</sup>Nike Dwi Savitri, <sup>3</sup>Yusrin Ramli, <sup>2</sup>Dwiwahju Sasongko & <sup>1,2</sup>Antonius Indarto\*)

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Bioenergi dan Kemurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

<sup>3</sup>Sekolah Pascasarjana Sains dan Teknologi, Universitas Hirosaki, Jepang

\*) antonius.indarto@itb.ac.id

### Abstrak

Dewasa ini pemanfaatan gas alam sebagai sumber energi perlu dioptimalkan karena kebutuhannya yang meningkat. Pemanfaatan gas alam untuk memproduksi LNG memerlukan sistem operasi bertekanan tinggi yaitu 1000 psig. Pemasangan unit kompresor sentrifugal multistage mutlak diperlukan untuk dapat menjaga tekanan operasi saat terjadi penurunan tekanan gas umpan pada sumur-sumur gas alam. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kinerja kompresor yang akan digunakan serta mengoptimasi kondisi operasi kompresor agar memenuhi spesifikasi tekanan gas jual. Dalam kajian ini, dilakukan simulasi bagaimana mempertahankan kestabilan tekanan operasi umpan untuk kasus penurunan tekanan sumber gas dari 1000 psig hingga 200 psig dalam kurun waktu 15 tahun. Laju alir gas pada kondisi normal adalah 80 MMSCFD dengan variasi laju gas pada kondisi surge (minimum) dan kondisi maksimum sebesar 110% × laju alir normal. Dengan menggunakan kurva prediksi peta kompresi dan simulasi Hysys pada kondisi dinamik, kinerja kompresor dapat dianalisis dan kemudian dapat digunakan untuk kebutuhan proses di lapangan.

*Kata Kunci:* Hysys; kompresor sentrifugal; pemodelan; peta kompresor; optimasi

### Abstract

Currently, the utilization of natural gas as an energy source needs to be optimized due to its increasing demand. The utilization of natural gas to produce LNG requires a high-pressure operating system of 1000 psig. The installation of a multistage centrifugal compressor unit is essential to maintain the operating pressure when there is a decrease in the feed gas pressure from natural gas wells. This study aims to predict the performance of the compressor that would be used and optimize the compressor operating conditions to satisfy the specifications of the gas selling pressure. In this study, simulations were conducted on how to maintain the stability of the feed operating pressure in the case of a drop in the gas source pressure from 1000 psig to 200 psig over a period of 15 years. Herein, the gas flow rate under normal conditions is 80 MMSCFD with a gas flow rate variation under surge (minimum) and maximum conditions of 110% × normal flow rate. By using the compressor map prediction curve and Hysys simulation under dynamic conditions, the compressor performance can be analyzed and then used for process requirements in the field.

*Keywords:* centrifugal compressor; compressor mapping; Hysys; modeling; optimization.

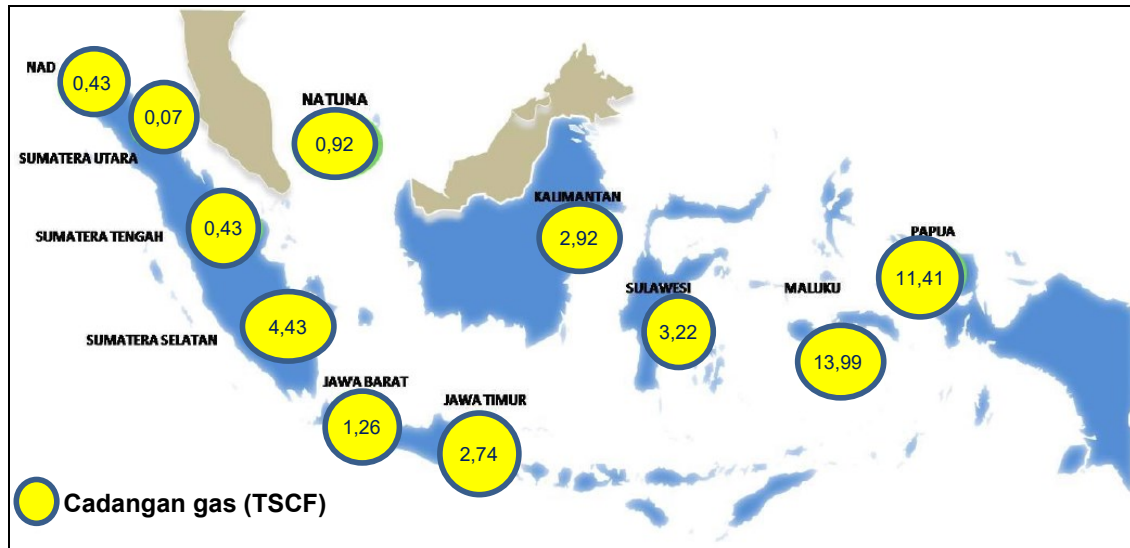
Makalah diterima 29 Januari 2023 – makalah direvisi 30 Maret 2023 – disetujui 31 Maret 2023

### Pendahuluan

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor penting di dalam pembangunan nasional baik dalam pemenuhan kebutuhan energi dan bahan baku industri di dalam negeri maupun penghasil devisa negara. Minyak dan gas bumi merupakan bahan bakar fosil (sumber energi yang tak terbarukan) sehingga pengelolaannya perlu dilakukan seoptimal mungkin. Sebagian besar kebutuhan energi berasal dari minyak bumi, seperti kebutuhan untuk BBM, LPG, dan kerosin (minyak tanah atau bahan bakar pesawat). Untukantisipasi kebutuhan energi yang semakin meningkat, pemanfaatan gas bumi sebagai sumber energi perlu dioptimalkan.

Gas bumi sering disebut juga sebagai gas alam merupakan bahan bakar fosil berbentuk gas dengan komposisi utama metana (CH<sub>4</sub>) dan memiliki sedikit campuran hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), dan butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) serta gas-gas yang mengandung sulfur [1]-[4]. Sebagian besar pemanfaatan gas alam dibagi atas 3 kelompok yaitu gas alam sebagai bahan bakar, gas alam sebagai bahan baku, dan gas alam sebagai komoditas energi untuk ekspor, seperti *Liquified Natural Gas* (LNG). Berdasarkan laporan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Indonesia (Ditjen Migas) tahun 2022, cadangan gas yang

terbukti ada Indonesia sebesar 41,62 TSFC [5], dan ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara penghasil gas alam utama di kawasan Asia Tenggara. Data dari Ditjen Migas membuktikan bahwa total cadangan gas alam Indonesia tersebar dari Sabang sampai Merauke seperti yang digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta sebaran cadangan gas (terbukti) Indonesia tahun 2021 [5]

Pengolahan gas alam yang keluar dari perut bumi dilakukan pada suatu unit yang dikenal sebagai pengolahan gas permukaan (*surface facility*). Unit pengolahan gas alam sebagai unit pengolahan awal sebelum gas dijadikan umpan pada industri LNG terdiri dari sistem pemisahan, sistem kompresi, dan sistem *metering*. Sistem kompresi merupakan salah satu proses yang berperan penting dalam mengolah gas alam untuk dapat memenuhi spesifikasi gas LNG yaitu gas bertekanan tinggi. Sumber gas terdiri dari beberapa sumur dengan tekanan sumur (WHP - *Well Head Pressure*) dan kapasitas yang berbeda-beda dengan kecenderungan terjadi penurunan tekanan seiring waktu produksi. Oleh karena itu, sistem kompresi yang terdapat pada pengolahan gas permukaan dimanfaatkan untuk mengatasi tekanan gas umpan yang fluktuatif agar spesifikasi gas jual dapat terpenuhi.

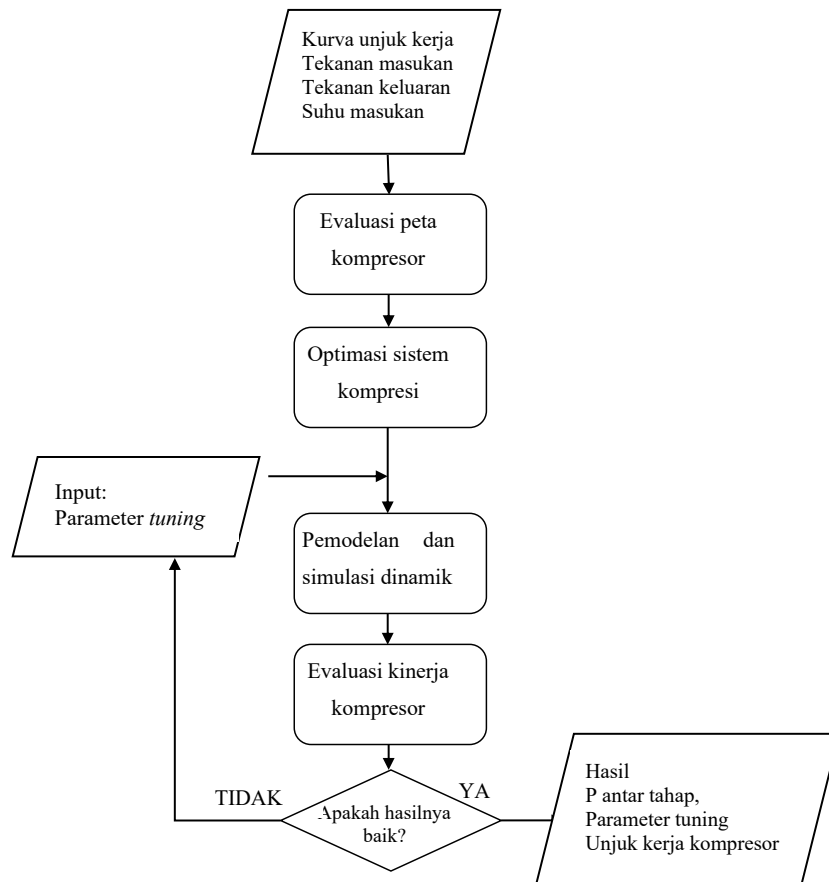
Dalam mendesain sistem kompresi, evaluasi unjuk kerja kompresor diperlukan untuk memilih kompresor yang efisien. Unjuk kerja kompresor dapat dilihat dari kurva peta kompresor yang menunjukkan variasi *head* dan daya (*power*) dengan laju alir volumetrik umpan pada kecepatan rotasi kompresor tertentu. Kompresor sentrifugal bekerja spesifik pada kondisi umpan (berat molekul fluida, tekanan, temperatur, dan faktor kompresi pada masukan kompresor) [6]-[8]. Dalam upaya mendapatkan kondisi terbaik dalam pengoperasian, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengoperasian kompresor sentrifugal multistage dengan menentukan kondisi optimum dengan metode simulasi. Perangkat lunak yang digunakan dalam simulasi ini adalah Hysys yang dioperasikan dalam kondisi tunak dan dinamik sehingga kinerja kompresor dapat diinterpretasi dengan baik di lapangan. Di samping itu, pemilihan Hysys sebagai perangkat lunak pilihan dikarenakan *bank data* dan sistem algoritma Hysys yang handal untuk pengolahan bahan-bahan fosil, khususnya pengolahan gas [1], [9], [10].

### Metode

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan desain awal kompresor sentrifugal serta mengoptimasi sistem pengoperasian kompresor sentrifugal. Studi ini dilakukan dengan menyimulasikan model pengoperasian kompresor yang diusulkan dengan menggunakan perangkat lunak Hysys. Penelitian secara umum dilakukan dengan memasukkan informasi berupa tekanan masukan, tekanan keluaran, dan temperatur masukan. Setelah itu, kinerja kompresor dievaluasi dengan kompresor dan dioptimasi sistem kerjanya. Lalu, parameter *tuning* ditambahkan untuk memodelkan proses dinamik dan dievaluasi kinerja kompresor. Jika hasil evaluasi kinerja tidak baik, dilakukan perbaikan parameter *tuning* dengan memasukkan nilai hasil. Jika hasil sudah memenuhi spesifikasi, parameter *tuning* bisa digunakan sebagai opsi lapangan.

Secara ringkas, alur penelitian disajikan pada Gambar 2. Secara rinci, tekanan masukan, tekanan keluaran, dan suhu masukan gas alam diinput ke dalam Hysys sehingga peta kompresi dapat dievaluasi. Peta kompresi yang diperoleh kemudian dioptimasi dalam sistem kompresi yang kemudian digunakan untuk memodelkan proses dinamik disertai input data parameter *tuning* berupa tebakan awal. Setelah diperoleh model dinamik,

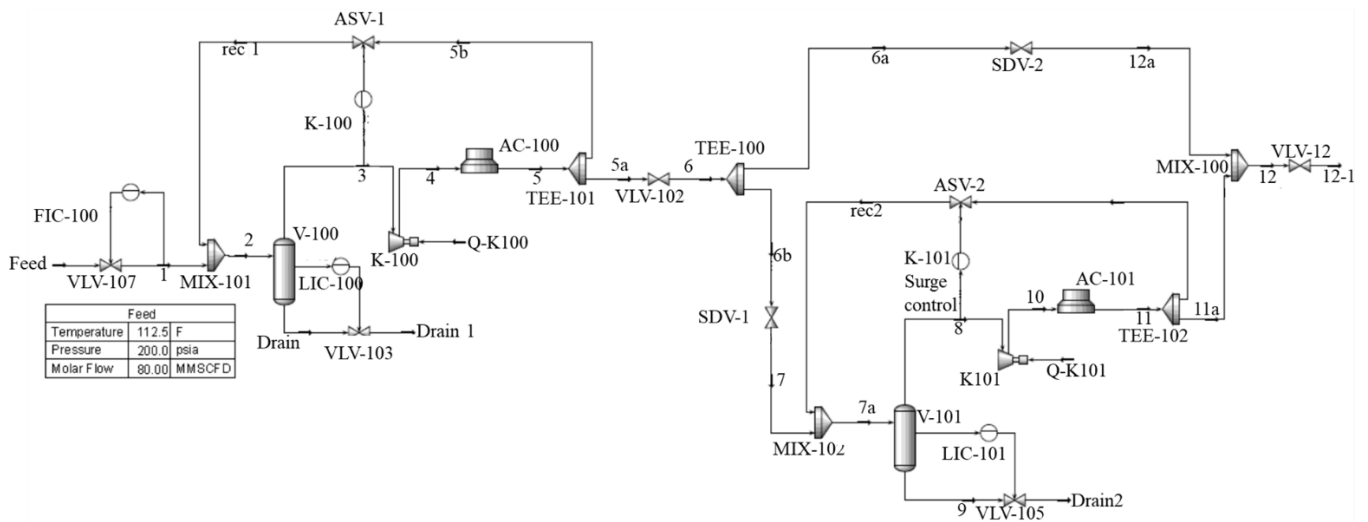
kinerja kompresor dievaluasi. Dari hasil evaluasi, hasilnya tidak baik, maka parameter *tuning* diinput kembali dengan nilai yang baru dari hasil evaluasi. Jika hasil simulasi sudah baik, maka data tekanan antar tahap, parameter *tuning* dan peta kompresi dapat digunakan.



Gambar 2. Prosedur umum evaluasi kinerja

### 1 Rancangan Pemodelan dan Simulasi

Sistem kompresi didesain menggunakan kompresor sentrifugal multistage. Pada awal pengoperasian, sistem pengoperasian menggunakan 1 tahap saja karena tekanan gas umpan yang masih tinggi. Instrumentasi pengendali proses akan dipasang pada *header* gas umpan untuk monitor tekanan dengan *Pressure Indicator* (PI) dan mengontrol bukaan katup ke kompresor pertama maupun selanjutnya dengan *Pressure Controller* (PC). Dengan adanya penurunan tekanan di gas umpan, penambahan kompresor diperlukan untuk mengkompresi gas sehingga spesifikasi tekanan gas jual (*sales gas*) terpenuhi. Model sistem pengoperasian kompresor dengan Hysys ditunjukkan pada Gambar 3. Selain itu, rasio kompresi secara umum dilakukan pada rentang 2–2,5 dan efisiensi politropik berada pada rentang sekitar 70%–80% [11], [12] sehingga nilai-nilai tersebut menjadi batasan dalam simulasi.



Gambar 3. Diagram alir proses sistem kompresor multistahap dengan Hysys

## 2 Variabel Percobaan

### 2.1 Variabel Tetap

Variabel tetap adalah variabel yang dijaga konstan pada sistem simulasi kompresi yang meliputi komposisi gas umpan dan spesifikasi tekanan gas jual seperti yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi gas umpan dan gas jual

Gas Umpan [16]			
Komponen	%-mol	Komponen	%-mol
N <sub>2</sub>	0,10	i-C4	1,00
CO <sub>2</sub>	0,00	n-C4	1,00
C1	86,00	i-C5	0,30
C2	7,50	n-C5	0,20
C3	3,50	C6+	0,40

Gas Jual [17]	
Parameter	Keterangan
Gross Heating Value	980–1320 Btu/SCF
Temperatur	Maks. 122 °F
Densitas	26–30 lb/ft <sup>3</sup>
Delivery Pressure	900–1400 psia
Lainnya	Tidak ada air ataupun cairan hidrokarbon Maximum 0,5 ppm lubrication oil

### 2.2 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel berubah pada sistem simulasi kompresi yang merupakan bagian dari gangguan proses (*disturbance*) maupun bagian parameter yang berubah untuk dapat memenuhi variabel target. Variabel yang dapat divariasikan pada sistem kompresi antara lain:

- a. Laju alir volumetrik (Q)
  - Laju alir normal : 80 MMSCFD.
  - Laju alir minimum : saat surge line
  - Laju alir maksimum : 110% × laju alir normal

- b. Tekanan antar tingkat kompresor  
Tekanan antar tahap kompresor yaitu tekanan keluaran di kompresor 1 yang akan menjadi masukan di kompresor 2. Penentuan desain tekanan antar tahap ini didasarkan pada profil tekanan gas masukan.
- c. Kecepatan rotasi  
Kecepatan rotasi sistem kompresi didasarkan pada tipe kompresor sentrifugal yang digunakan (80% hingga 110% kecepatan rotasi)

**2.3 Variabel Target dan Variabel Pembatas**

Variabel target adalah variabel pada sistem kompresi yang menjadi target untuk optimasi (*objective function*) dan merupakan fungsi dari variabel bebas. Target optimasi sistem kompresi ini yaitu meminimalkan kebutuhan daya pada pengoperasian kompresor sentrifugal multistage. Dalam penelitian ini, variabel yang membatasi proses adalah efisiensi adiabatik. Efisiensi adiabatik dapat diperoleh dari kurva unjuk kerja kompresor sentrifugal. Batasan ini perlu dipertimbangkan karena merupakan efisiensi ideal isentropis yang dapat dicapai [13]-[15].

**3 Simulasi dan Optimasi**

**3.1 Evaluasi Kurva Unjuk Kerja Kompresor**

Evaluasi kinerja kompresor dilakukan dengan menggunakan kurva unjuk kerja kompresor berdasarkan profil sumur gas pada Tabel 2. Simulasi kondisi tunak dengan memberikan gangguan pada sistem kompresi yaitu penurunan tekanan masukan diharapkan dapat menunjukkan rentang pengoperasian dari masing-masing kompresor.

Tabel 2. Spesifikasi gas umpan dan gas jual

Tahun ke-	P (psia)	Tahun ke-	P (psia)	Tahun ke-	P (psia)
1	1200	6	532	11	236
2	1020	7	453	12	201
3	867	8	385	13	171
4	737	9	327	14	145
5	626	10	278	15	123

**3.2 Optimasi Kondisi Operasi Kompresi**

Sistem pengoperasian kompresor multistage dioptimalkan dengan menggunakan kurva unjuk kerja (peta kompresor). Fenomena di dalam sistem yang perlu dipertimbangkan adalah kondisi gas masuk dan *surgings*. Selanjutnya, hasil optimasi dievaluasi dari perhitungan rasio tekanan, efisiensi kompresor, dan daya kompresor. Metode optimasi kondisi operasi sistem kompresi menggunakan bantuan *Optimizer* pada perangkat lunak Hysys dengan menetapkan peta kompresor tahap 1 dan tahap 2 serta menetapkan tekanan keluaran tahap 1 sebagai variabel target (*objective function*). Batasan terhadap variabel bebas ini yaitu rasio tekanan untuk kompresor sentrifugal dan efisiensi adiabatik dari kurva unjuk kerja.

**3.3 Simulasi Dinamik**

Unjuk kerja kompresor dievaluasi dengan simulasi Hysys pada kondisi dinamik. Hasil optimasi kondisi operasi dan kurva unjuk kerja digunakan sebagai data operasi pada simulasi ini. Dalam upaya memahami kondisi di lapangan, penelitian ini membagi simulasi dinamik menjadi tiga skenario yang mungkin terjadi, diantaranya kondisi saat terjadi penurunan tekanan gas umpan, penurunan volume gas umpan sumur, dan perubahan komposisi gas umpan. Skenario, metode simulasi, dan *monitoring* setiap skenario secara ringkas disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi gas umpan dan gas jual

Skenario	Kondisi	Monitoring
1. Perubahan komposisi gas umpan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laju alir: 50 MMSCFD</li> <li>- Tekanan: 200 psia</li> <li>- Buka katup aliran dimulai dari 0%</li> <li>- Gas C1 divariasikan sebesar <math>\pm 5\%</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daya di masing-masing kompresor</li> <li>- Tekanan keluaran kompresor</li> </ul>
2. Penurunan volume gas umpan sumur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laju alir: 20–80 MMSCFD</li> <li>- Tekanan: 200 psia</li> <li>- Kecepatan kompresor 1 sebesar 106% dan kompresor 2 sebesar 95%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laju alir volumetrik aktual gas</li> <li>- Tekanan keluaran kompresor</li> <li>- Daya kompresor di masing-masing kompresor</li> </ul>
3. Penurunan tekanan gas umpan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekanan gas umpan: 180–900 psia</li> <li>- Laju alir: 80 MMSCFD</li> <li>- Kompresor tahap 2 digunakan saat tekanan gas &lt; 450 psia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laju alir volumetrik aktual gas</li> <li>- Buka katup</li> <li>- Tekanan keluaran kompresor</li> <li>- Daya kompresor di masing-masing tahap</li> </ul>

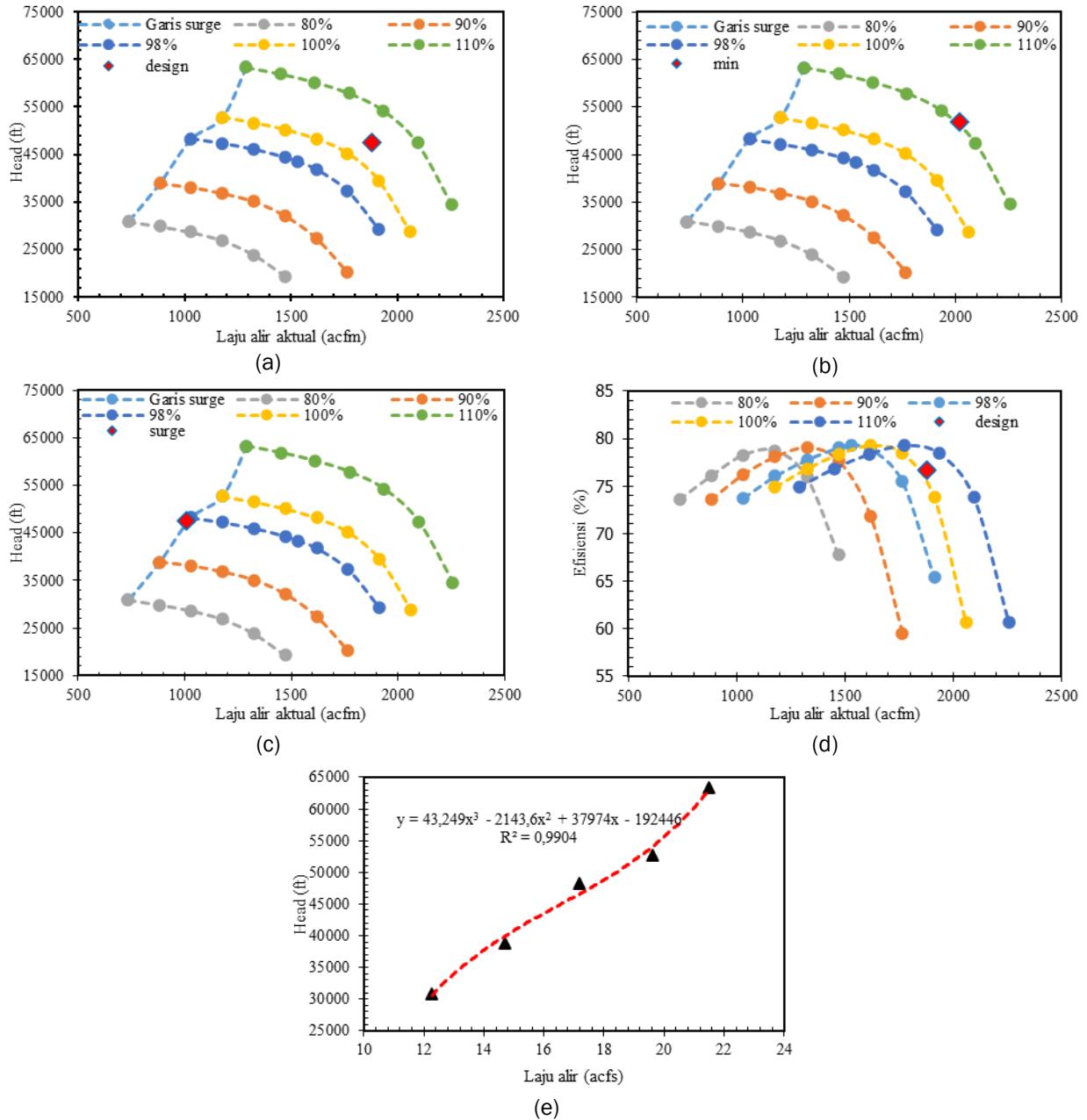
## Hasil dan Diskusi

### 1 Prediksi dan Evaluasi Peta Kompresor

#### 1.1 Prediksi dan Evaluasi Kompresor Tahap 1

Prediksi kompresor sentrifugal tahap 1 dilangsungkan pada kondisi tekanan tinggi dilakukan dengan desain data proses kompresor sentrifugal dengan laju gas 80 MMSCFD dan tekanan masukan sesuai data profil sumur gas pada Tabel 2. Dengan bantuan simulator Hysys, plot kondisi desain untuk pengoperasian kompresor tahap 1 dilakukan pada tekanan masukan 450 psia untuk mencapai tekanan keluaran 1065 psia ditunjukkan pada gambar 4a. Berdasarkan Gambar 4a, terlihat bahwa titik operasi kecepatan rotasi kompresor menjadi lebih besar sekaligus menghasilkan *head* yang lebih besar. Efisiensi sistem desaintahap 1 ini sebesar 76,7% seperti yang tertera pada Gambar 4d.

Kemudian pada Gambar 4b, kompresor dioperasikan pada kondisi minimum yang disebabkan oleh perubahan dua variabel proses, yaitu tekanan masukan dan laju alir gas. Selama proses pengoperasian kompresor, profil gas sumur akan mengalami penurunan tekanan yang diikuti dengan penurunan laju alirnya. Desain minimum untuk kompresor tahap 1 yaitu pada laju alir molar 43 MMSCFD. Kondisi ini merupakan kondisi minimum untuk pengoperasian kompresor sentrifugal dengan efisiensi paling kecil dan memerlukan daya terbesar. Pengoperasian pada kondisi *surge* ini ditunjukkan pada gambar 4c. Kondisi *surge* merupakan kondisi yang perlu dihindari, sehingga diperlukan sistem kontrol proses pada kompresor berupa katup kendali. Katup kendali ini menjaga agar laju alir masukan kompresor tidak mencapai kondisi *surge*. Parameter yang digunakan dalam katup kontrol dapat diperoleh dari hasil regresi prediksi peta kompresor seperti yang disajikan pada Gambar 4e.



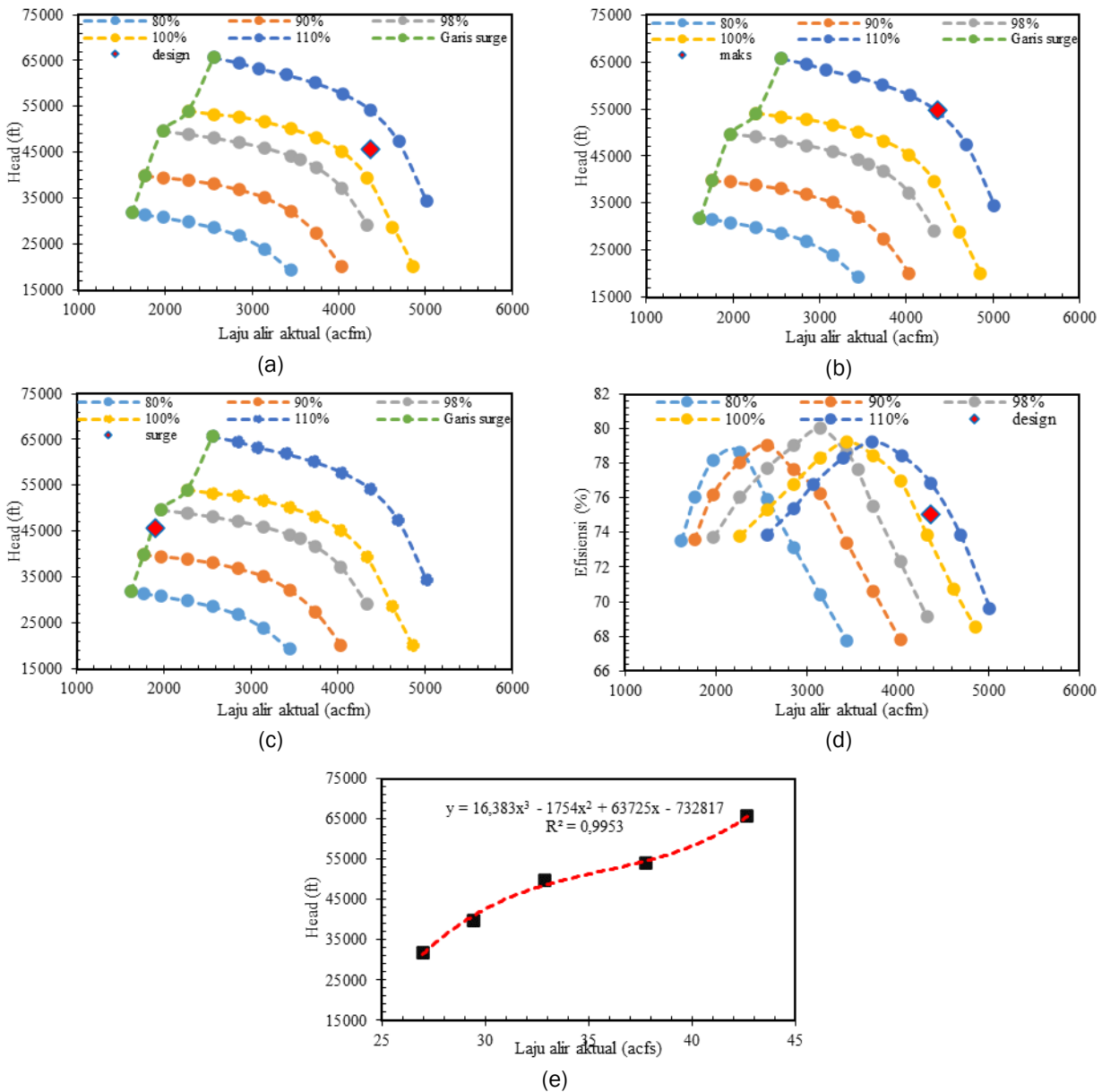
Gambar 4. Evaluasi kinerja kompresor tahap 1: (a) titik operasi pada kondisi rancangan (*design*); (b) titik operasi pada kondisi kecepatan putar kompresor maksimum (tekanan sumur minimum); (c) titik operasi pada kondisi *surge*; (d) titik operasi rancangan (*design*) pada kurva efisiensi kompresor; (e) garis batas operasi pengendali *surge*

### 1.2 Prediksi dan Evaluasi Kompresor Tahap 2

Prediksi kompresor sentrifugal tahap 2 dioperasikan pada kondisi tekanan rendah dilakukan dengan laju alir 80 MMSCFD dan perubahan tekanan masukan kompresor. Dengan bantuan simulator Hysys, plot kondisi desain untuk pengoperasian kompresor tahap 2 dilakukan pada tekanan masukan 200 psia dan gas dikompresi hingga mencapai 450 psia sebagai tekanan keluaran. Plot unjuk kerja kompresor tahap 2 pada kondisi desain ditunjukkan Gambar 5a. Efisiensi kompresor pada kondisi desain ini diperkirakan sebesar 75% seperti yang disajikan dalam Gambar 5d.

Dari prediksi peta kompresor, kompresor sentrifugal tahap 2 ini dapat beroperasi meningkatkan tekanan hingga 520 psia dengan efisiensi kompresor 76,9%. Dari Gambar 5b, terlihat bahwa titik operasi kecepatan rotasi kompresor menjadi lebih besar dan menghasilkan *head* yang lebih besar pula. Pada kondisi minimum (35 MMSCFD), kompresor mengalami *surge* (Gambar 5d), sehingga diperlukan katup kendali supaya

kompressor dapat beroperasi dengan normal. Parameter yang diperlukan diperoleh dari hasil regresi prediksi peta kompressor tahap 2 seperti yang digambarkan oleh Gambar 5e.



Gambar 5. Evaluasi kinerja kompressor tahap 2: (a) titik operasi pada kondisi rancangan (*design*); (b) titik operasi pada kondisi kecepatan putar kompressor maksimum (tekanan sumur minimum); (c) titik operasi pada kondisi *surge*; (d) titik operasi rancangan (*design*) pada kurva efisiensi kompressor; (e) garis batas operasi pengendali *surge*

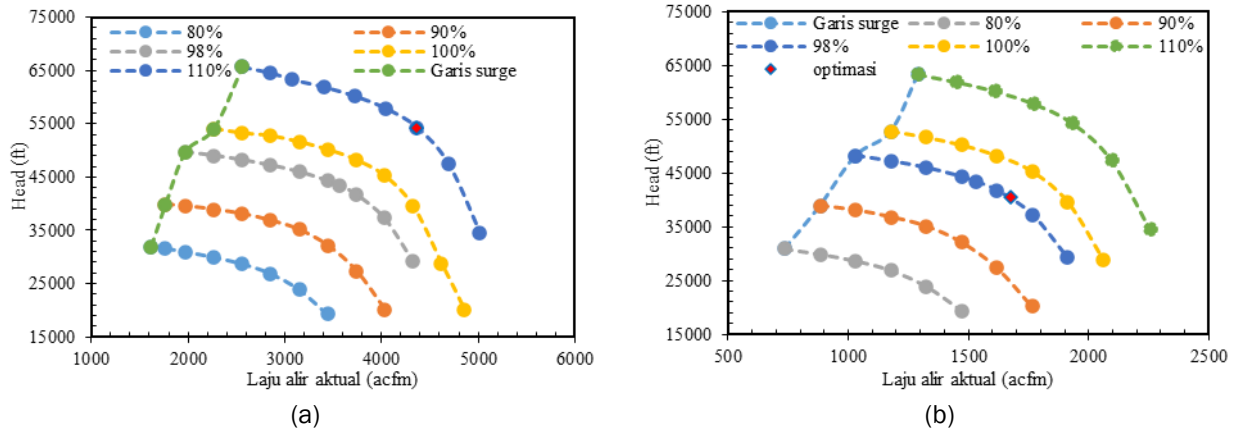
### 1.3 Optimasi Pengoperasian Kompressor Sentrifugal Multitahap

Sistem pengoperasian kompressor sentrifugal multitahap ditunjukkan pada Gambar 6. Dari hasil evaluasi peta kompressor menunjukkan rentang operasi kompresi menjadi lebih luas dibanding kondisi desain, akan tetapi penentuan tekanan keluaran kompressor 1 dan tekanan masukan kompressor 2 perlu dikaji. Hal ini untuk mendapatkan sistem pengoperasian multitahap yang optimum dimana kebutuhan energi total untuk kedua kompressor juga minimum. Selain itu, optimasi pengoperasian kompressor juga akan menjadi dasar pada tahun ke berapa penambahan instalasi kompressor diperlukan. Dengan menggunakan hasil prediksi peta kompressor untuk kompressor sentrifugal tahap 1 dan tahap 2, optimasi dilakukan untuk menentukan kondisi tekanan di antar tahap.

Berdasarkan evaluasi unjuk kerja, kompressor sentrifugal tahap 1 mampu beroperasi untuk mengompresi gas masukan dengan tekanan minimum 420 psia yang berarti kompressor tahap 1 mampu beroperasi hingga tahun ke-7. Pada kondisi ini, menghasilkan sistem kompresi memerlukan daya sebesar 5018 Hp dengan



kompresor beroperasi di efisiensi 76,7%. Penambahan kompresor tahap 2 setelah tahun produksi ke-7, mengakibatkan pengalihan pengoperasian menjadi sistem kompresi seri multistage. Kemudian, dengan optimasi kondisi tekanan antar tahap, diperoleh kondisi optimum yaitu tekanan gas keluaran kompresor tahap 1 yaitu pada 516,4 psia. Pada kondisi ini, menghasilkan sistem kompresi memerlukan total daya sebesar 9093 hp dengan kompresor 1 dan kompresor 2 beroperasi di efisiensi 76,9% dan 77,6%.

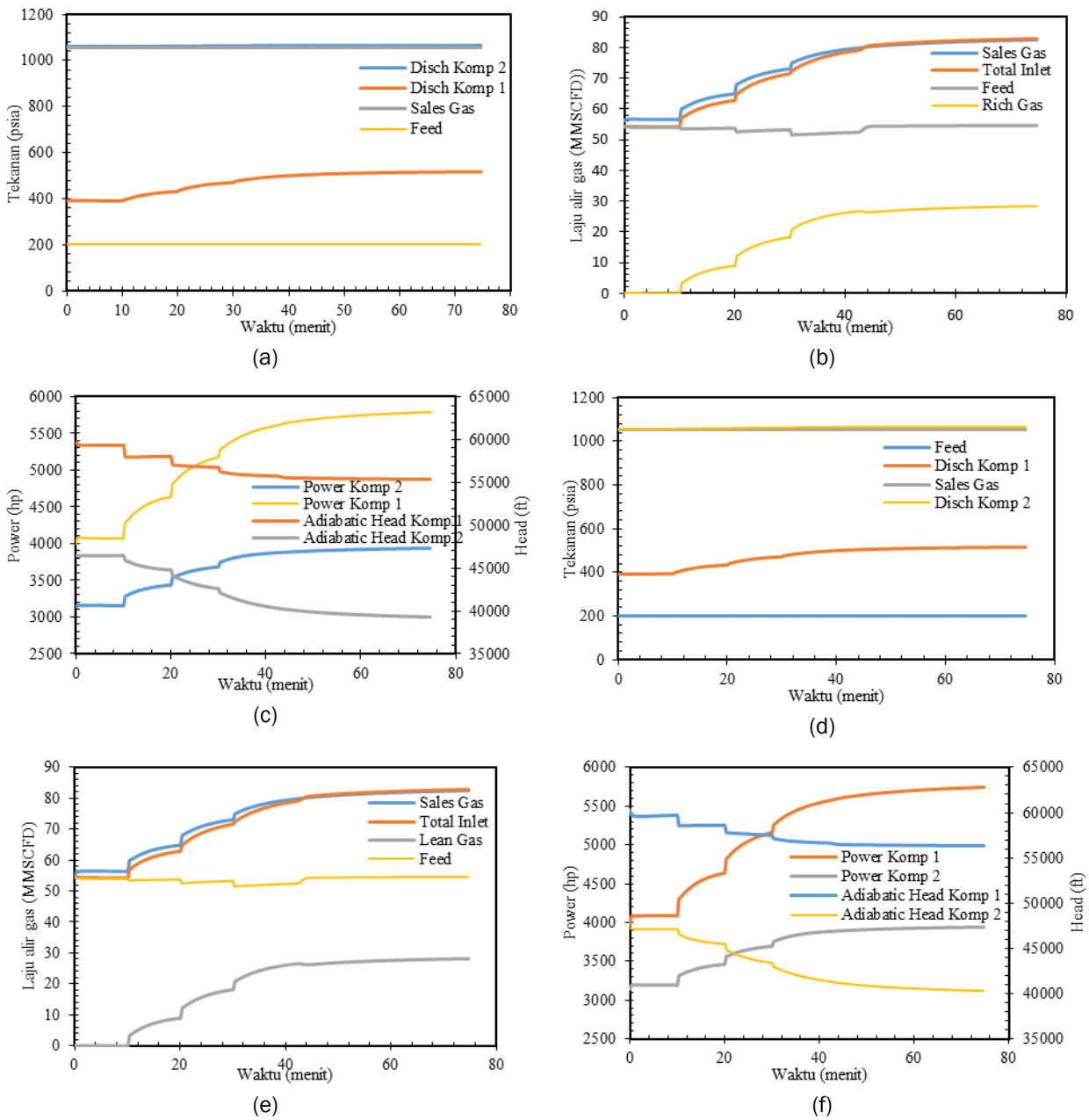


Gambar 6. Optimasi kinerja kompresor: (a) tahap 1; dan (b) tahap 2

## 2 Simulasi Dinamik Kompresor Sentrifugal Multistage

### 2.1 Skenario 1 Perubahan Komposisi Gas Umpam

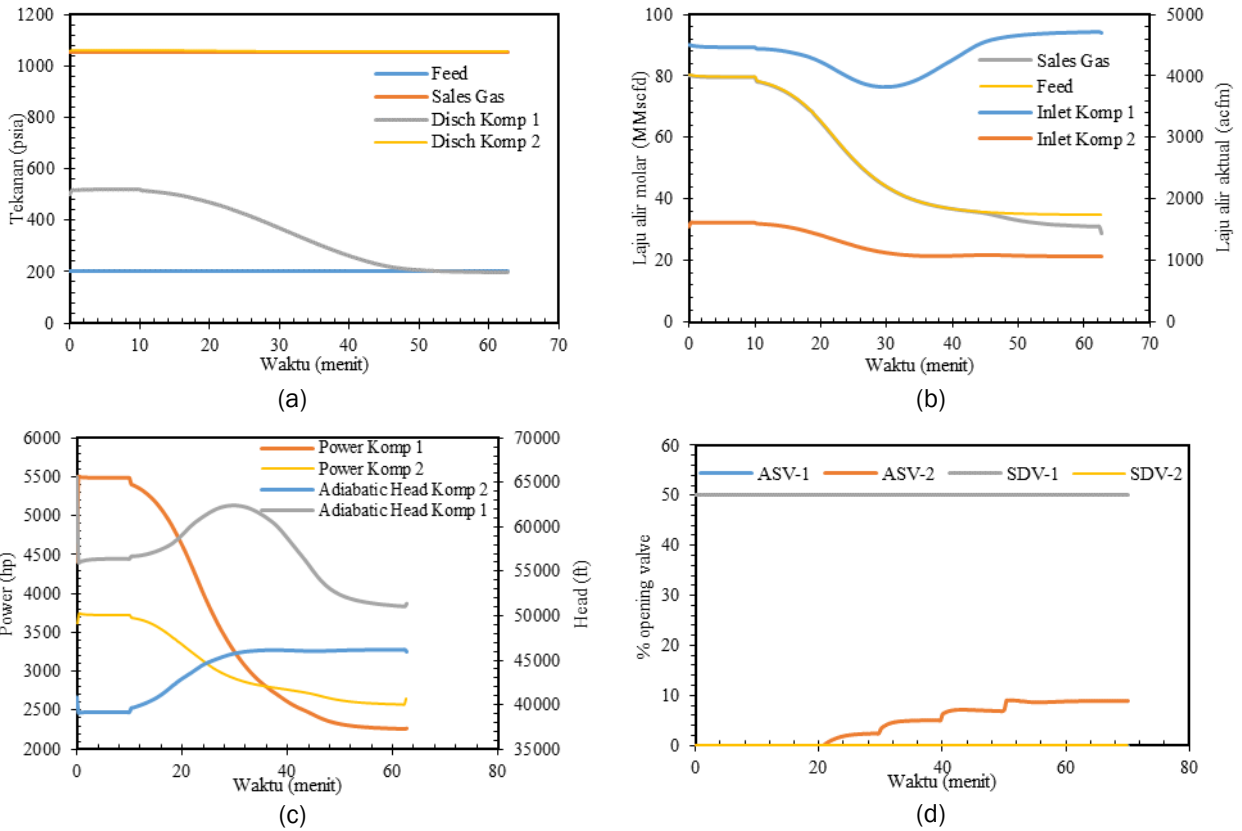
Hasil simulasi dinamik skenario 3 dilakukan dengan kondisi *rich gas* (penambahan gas C1: 5%) dan *lean gas* (pengurangan gas C1: 5%) seperti yang disajikan pada Gambar 7a-c dan Gambar 7d-f. Dari perbandingan hasil simulasi tersebut, dapat diamati bahwa untuk mengompresi gas umpam sesuai kriteria gas jual, sistem kompresi *lean gas* memerlukan daya sedikit lebih besar karena berat molekul dan densitas *lean gas* lebih besar dari gas jual. Di samping itu, perubahan komposisi gas umpam akan mempengaruhi karakteristik kompresor yaitu *head* dan daya. Dari hasil perhitungan, campuran gas umpam dengan *rich gas* akan menghasilkan *head* yang lebih besar dibanding *lean gas*, dimana *head* kompresor berbanding terbalik dengan berat molekul gas. Akibatnya, campuran gas umpam dengan *rich gas* akan memerlukan daya yang lebih kecil dibandingkan campuran umpam dengan *lean gas*. Namun, perbedaan daya tersebut tidak signifikan dikarenakan debit volume aliran dan *head* relatif tidak banyak berubah. Dari skenario ini, kondisi tunak pada sistem *rich gas* dapat dicapai saat sistem dioperasikan selama 60 menit, sedangkan pada sistem *lean gas* kestabilan dicapai sedikit lebih cepat, sekitar 55 menit.



Gambar 7. Unjuk kerja sistem dinamik kompresor 1 tahap menjadi multistage pada skenario 1: (a) tekanan rich gas; (b) laju alir rich gas; (c) parameter unjuk kerja rich gas; (d) tekanan lean gas; (e) laju alir lean gas; dan (f) parameter unjuk kerja lean gas

**2.2 Skenario 2 Penurunan Laju Alir Gas Umpan**

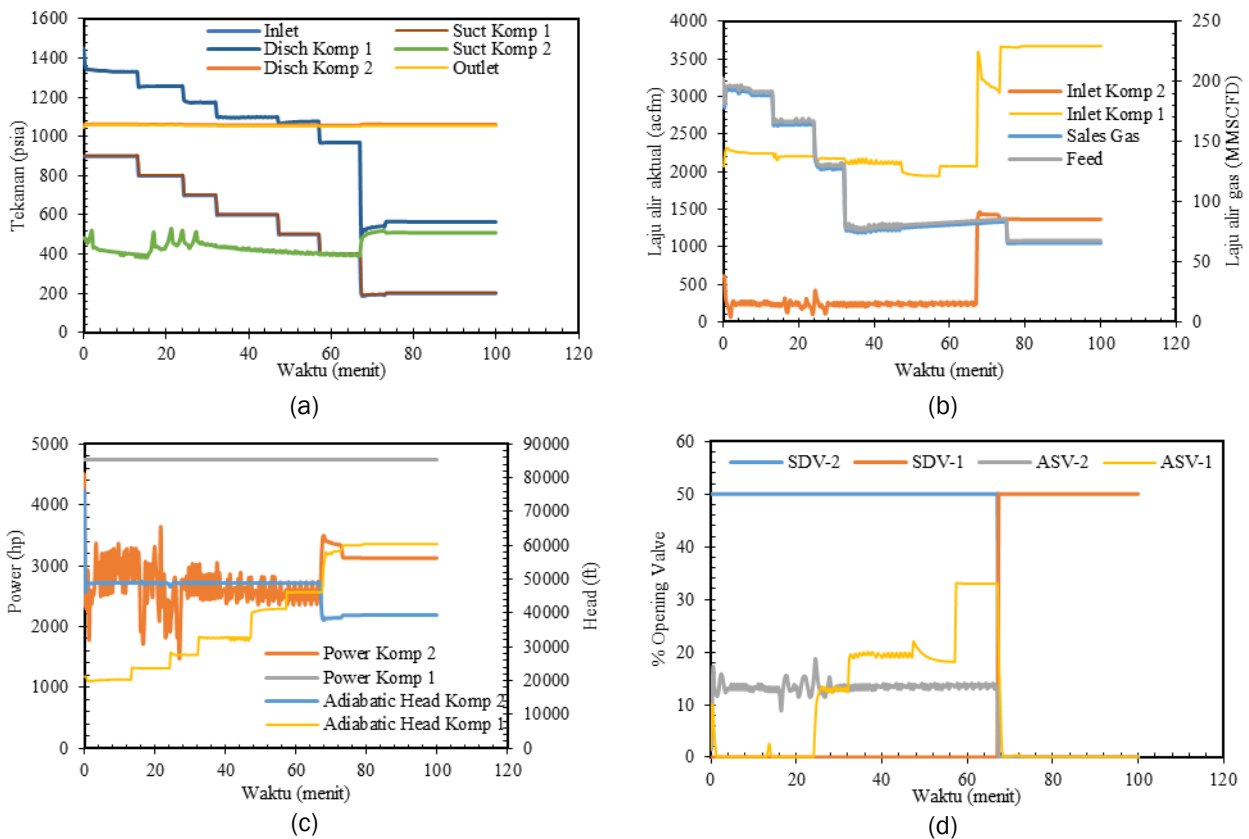
Unjuk kerja sistem kompresi pada kondisi desain dieksekusi pada kondisi dinamik yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dari simulasi dinamik memberikan hasil minimum laju alir untuk sistem kompresi agar kompresor tidak mencapai kondisi surge yaitu pada 38,72 MMSCFD. Secara umum, semakin kecil laju alir gas umpan, maka semakin kecil pula kebutuhan daya yang diperlukan. Untuk menghasilkan tekanan sesuai spesifikasi gas jual, kompresor dengan efisiensi tetap akan beroperasi pada head yang lebih tinggi karena laju alir aktual gas yang kecil. Laju alir minimal gas umpan ditentukan dan kontrol anti-surge dipasangkan agar kompresor tidak beroperasi pada kondisi surge. Dari hasil simulasi, ditunjukkan bahwa proses transisi membutuhkan waktu setidaknya 60 menit untuk mencapai kondisi tunak atau stabil.



Gambar 8. Unjuk kerja sistem dinamik kompresor 1 tahap menjadi multistage pada skenario 2: (a) tekanan; (b) laju alir; (c) parameter unjuk kerja; (d) katup kendali surge

### 2.3 Skenario 3 Penurunan Tekanan Sumur Gas

Hingga tahun ke-8 dimana tekanan gas umpan dari sumur menurun hingga 380 psia, kompresor 1 tahap masih dapat dioperasikan untuk menaikkan tekanan ke spesifikasi gas jual. Namun, kondisi ini mengakibatkan kompresor memerlukan daya lebih besar untuk menghadapi perubahan head yang lebih tinggi. Adanya penambahan instalasi kompresor tahap 2, beban untuk kompresor 1 dapat dikurangi sehingga kompresor 1 dapat beroperasi dengan efisien. Perubahan sistem dari kompresor 1 tahap menjadi multistage dievaluasi dalam kondisi dinamik, setelah dioperasikan lebih dari 80 menit, proses transisi sistem dapat dikatakan selesai (tunak). Hal ini ditunjukkan dalam simulasi tekanan, laju alir, kinerja, dan bukaan katup anti surge pada Gambar 9.



Gambar 9. Unjuk kerja sistem dinamik kompresor 1 tahap menjadi multistage pada skenario 2: (a) tekanan; (b) laju alir; (c) parameter unjuk kerja; (d) katup kendali surge

### Kesimpulan

Dalam penelitian ini, evaluasi dinamik sistem kompresi untuk mengatur tekanan keluaran kompresor telah dilakukan menggunakan simulator proses Aspen Hysys. Dengan mempertimbangkan peta operasi kompresor, kondisi optimum untuk sistem operasi kompresor multistage terjadi saat tekanan operasi sebesar 516 psia. Dalam skenario 1, peningkatan kemurnian gas metana dapat mempermudah proses kompresi sehingga daya yang diperlukan lebih kecil. Saat laju alir gas berkurang (skenario 2), kompresor 1 masih dapat beroperasi jika laju alir gas tidak kurang dari 43 MMSCFD dan 35 MMSCFD untuk kompresor 2. Selain itu, dari hasil evaluasi skenario 3, pemasangan kompresor kedua dapat dilakukan saat tahun ke-7 sebagai upaya menanggulangi permasalahan penurunan tekanan gas. Dengan demikian, permasalahan perubahan kemurnian gas metana, penurunan laju alir gas, dan penurunan tekanan sumur gas di lapangan dapat diatasi dengan menambahkan kompresor seperti yang dibuktikan dalam simulasi dinamik Hysys.

### Referensi

- [1] T. P. Adhi, T. S. Rosyid, Y. Ramli, dan A. Indarto, "Dynamic Evaluation: Centrifugal Compressor's Operation in Determining Anti-Surge Controller," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 14, no. 2, hal. 123–132, 2022, doi: 10.5614/joki.2022.14.2.6.
- [2] J. Speight, "Analysis of gas and condensate from tight formations," *Shale Oil and Gas Production Processes*, J. B. T.-S. O. and G. P. P. Speight, Ed. Elsevier, 2020, hal. 373–450. doi: 10.1016/B978-0-12-813315-6.00007-5.
- [3] S. Kuczyński, M. Łaciak, A. Szurlej, dan T. Włodek, "Impact of Liquefied Natural Gas Composition Changes on Methane Number as a Fuel Quality Requirement," *Energies*, vol. 13, no. 19, hal. 5060, Sep 2020, doi: 10.3390/en13195060.
- [4] G. Etiope, "Natural Gas," W. M. White, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2018, hal. 961–965. doi: 10.1007/978-3-319-39312-4\_152.
- [5] Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Indonesia, *Statistik Minyak dan Gas Bumi 2021*, 2022.
- [6] S. M. Walas, *Chemical Process Equipment Selection and Design*, 1st ed. Butterworths, 1990.

- [7] O. Johansen, "Performance Monitoring System for Centrifugal Compressors On Heimdal Gas Field," *Profitable Condition Monitoring*, B. K. N. Rao, Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993, hal. 55–67. doi: 10.1007/978-94-011-1616-9\_7.
- [8] K. H. Lüdtke, *Process Centrifugal Compressors*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. doi: 10.1007/978-3-662-09449-5.
- [9] Y. Ramli, S. Steven, E. Restiawaty, dan Y. Bindar, "Simulation Study of Bamboo Leaves Valorization to Small-Scale Electricity and Bio-silica Using ASPEN PLUS," *BioEnergy Res.*, vol. 15, no. 4, hal. 1918–1926, Des 2022, doi: 10.1007/s12155-022-10403-7.
- [10] A. Indarto, J. W. Choi, H. Lee, H. K. Song, "Decomposition of  $\text{CCl}_4$  and  $\text{CHCl}_3$  on Gliding Arc Plasma," *J. Environ. Sci.*, vol. 18, hal. 83-89, Feb 2006.
- [11] M. Taher dan F. Evans, "Centrifugal Compressor Polytropic Performance—Improved Rapid Calculation Results—Cubic Polynomial Methods," *Int. J. Turbomachinery, Propuls. Power*, vol. 6, no. 2, hal. 15, Mei 2021, doi: 10.3390/ijtp6020015.
- [12] B. Guo, W. C. Lyons, dan A. Ghalambor, "Transportation Systems," in *Petroleum Production Engineering*, B. Guo, W. C. Lyons, dan A. B. T.-P. P. E. Ghalambor, Ed. Burlington: Elsevier, 2007, hal. 133–158. doi: 10.1016/B978-075068270-1/50016-5.
- [13] M. V Casey dan T. M. Fesich, "The Efficiency of Turbocharger Compressors With Diabatic Flows," *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 132, no. 7, Jul 2010, doi: 10.1115/1.4000300.
- [14] L. Zhang, L. Liu, C. Zhang, X. He, Y. Zhang, dan T. Yang, "Performance analysis of an adiabatic compressed air energy storage system with a pressure regulation inverter-driven compressor," *J. Energy Storage*, vol. 43, hal. 103197, Nov 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.103197.
- [15] R. Decher, "The Compressor: Gas Turbine Engine Keystone," in *The Vortex and The Jet*, R. Decher, Ed. Singapore: Springer Singapore, 2022, hal. 109–119. doi: 10.1007/978-981-16-8028-1\_10.
- [16] L. Brenne, T. Bjørge, J. L. Gilarranz, J. M. Koch, dan H. Miller, "Performance Evaluation of A Centrifugal Compressor Operating Under Wet Gas Conditions.," 2005. doi: 10.21423/R1V35Z.
- [17] DESFA, "Natural Gas Quality Specification." <https://www.desfa.gr/en/regulated-services> (diakses 14 Juli 2022).