

# Mengendalikan *Surge* Kompresor Menggunakan *CCC Series Plus Antisurge Compressor Mode fA40*

Oleh : Dwi Heri Sudaryato \*)

## Abstrak

Di dalam pemrosesan gas, pada umumnya kompresor yang digunakan adalah kompresor jenis sentrifugal. Permasalahan yang timbul dalam pengoperasiannya adalah adanya *surging*, yang mana apabila keadaan ini dibiarkan secara terus akan menyebabkan terjadinya *surge* kompresor. *Surge* menyebabkan kerusakan kompresor sehingga kompresor tidak dapat beroperasi secara optimal. Untuk mengatasi fenomena tersebut di atas, perlu dipasang suatu sistem control yang bertujuan untuk menjaga operasi kompresor agar tetap berada pada kondisi yang aman dan terhindar dari *surge*, sistem tersebut dikenal dengan “*Antisurge Compressor Control*”.

Kata Kunci : Kompresor, *Surge*, *Antisurge*

## I. Pendahuluan

### A. Latar Belakang

Di dalam proses pembuatan LNG, kompresor sentrifugal merupakan alat yang mempunyai peranan yang sangat penting, sehingga dalam pengoperasiannya harus selalu dijaga agar jangan sampai terjadi hal-hal yang tidak diinginkan sehingga akan menyebabkan kerusakan pada kompresor tersebut. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut di atas sangatlah penting mengetahui dan memahami prinsip-prinsip pengamanan dan pengendalian kompresor agar dapat memberikan aksi yang tepat didalam menghindari terjadinya kerusakan pada peralatan kompresor saat terjadinya kondisi operasi yang tidak normal (*surge* maupun *shutdown*).

*Antisurge controller* adalah salah satu pengendali kompresor sentrifugal agar dalam beroperasinya tidak terjadi perbedaan tekanan di luar harga yang diinginkan (*set point*),

sehingga apabila terjadi hal demikian maka *antisurge controller* akan mengeluarkan sinyal untuk memerintahkan *by pass control valve* agar membuka supaya sebagian tekanan buang disirkulasikan kembali ke inlet kompresor agar terjadi penurunan beda tekanan sampai ke harga yang diinginkan (*set poin*). Dengan demikian peristiwa *surge* tidak akan terjadi.

### B. Tujuan

1. Untuk mengetahui bagaimana cara kerja *antisurge controller* sehingga kondisi operasi kompresor tidak mengalami kerusakan akibat adanya peristiwa *surge*.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh *antisurge controller* terhadap kondisi operasi kompresor sentrifugal.

### C. Rumusan Masalah

1. Apakah ada pengaruh *antisurge control-*

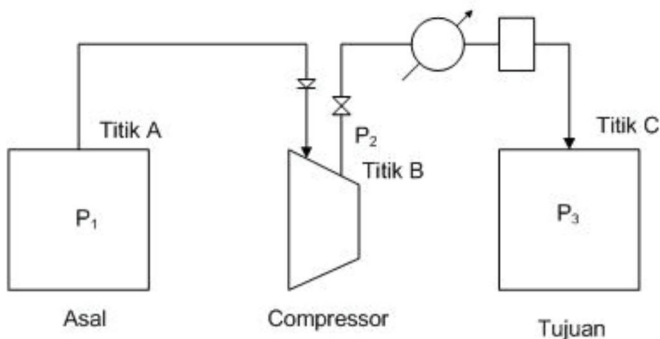
ler terhadap kondisi operasi kompresor sentrifugal ?

2. Sejauh mana pengaruh *antisurge controller* terhadap kondisi operasi kompresor sentrifugal ?

## II. TINJAUAN TEORI

### A. Kompresor Sentrifugal

Dalam industri proses, kompresor banyak digunakan untuk menangani gas (*gas handling*) yaitu dengan jalan menaikkan tekanan gas. Seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini, gas dari titik A hendak dipindahkan ke titik C. Untuk melakukan ini, sebuah kompresor digunakan untuk menaikkan tekanan gas dari  $P_1$  ke  $P_2$ , sehingga gas bisa mengalir ke titik C. Tekanan di titik C ( $P_3$ ) besarnya lebih kecil dibanding tekanan di titik B ( $P_2$ ) ( $P_3 < P_2$ ) karena ada tekanan yang hilang di perjalanan (pada pipa).



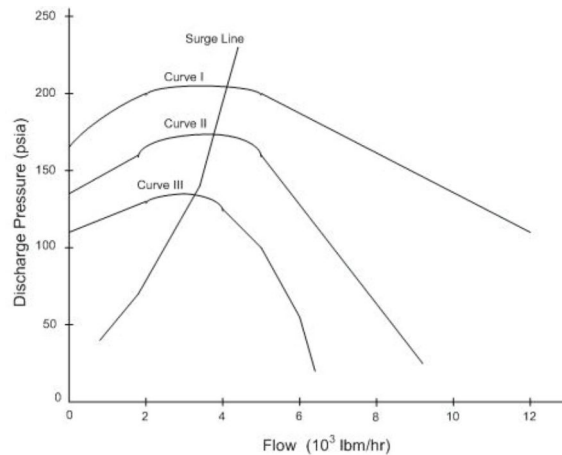
Gambar 1. Gas Handling

Sebagaimana peralatan proses lainnya, maka operasi kompresor juga perlu dikontrol sehingga kondisi operasi yang diinginkan oleh unit proses yang dilayaninya selalu terpenuhi.

Beberapa hal yang berkaitan dengan operasi centrifugal compressor, yaitu *compressor performance curve*, *surge phenomena*, *system curve* dan *compressor operating point*.

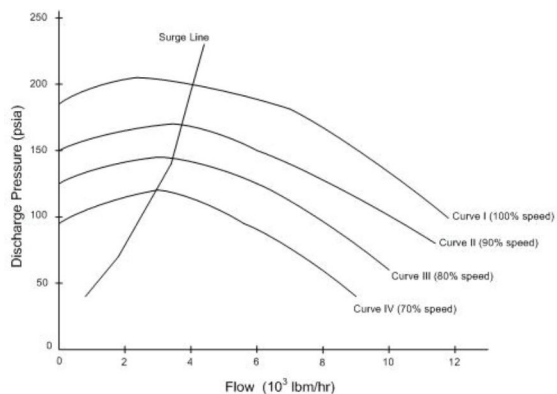
### 1. Compressor Performance Curve

Apabila compressor dioperasikan pada angular velocity ( $\omega$ ), inlet temperature ( $T_1$ ), gas constant ( $R$ ), politropic coefficient ( $n$ ), motor torque ( $\tau$ ) dan gas compressibility factor ( $Z$ ) yang konstan, maka kurva discharge pressure (PI) terhadap weight flow (W) untuk beberapa nilai inlet pressure ( $P_1$ ) dapat digambarkan sbb:



Gambar 2. Compressor Performance Curve

Sedangkan bila berubah-ubah, maka kurva-nya dapat digambarkan sebagai berikut :



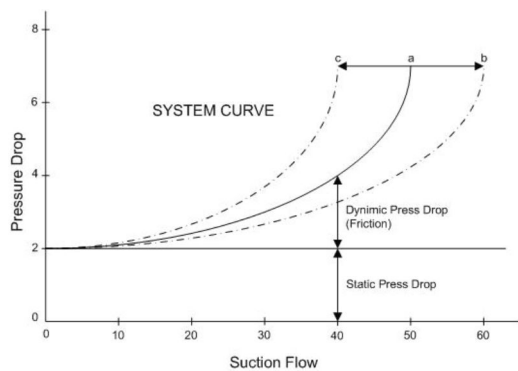
Gambar 3. Compressor Performance Curve dengan perubahan

### 2. Surge Phenomena

Seperti terlihat pada kedua kurva gambar 2., terdapat garis yang berbentuk parabolik di sebelah kiri kurva, yang disebut *surge line*. Apabila compressor beroperasi pada aliran rendah sehingga melewati *surge line* ke kiri, maka operasi compressor akan menjadi tidak stabil dan terjadi aliran bolak-balik yang akan menyebabkan vibrasi dan kerusakan. Kondisi ini disebut *surging*. Untuk menghindari *surging*, compressor harus dioperasikan pada flow yang lebih besar dari *surge line*, jadi titik operasi compressor harus berada di sebelah kanan *surge line*.

### 3. System Curve

Bila gas dengan tekanan/pressure tertentu dialirkan melalui suatu sistem perpipaan (yang terdiri dari pipa, valve, elbow, reducer serta komponen sistem pemipaan lainnya), akan terjadi kehilangan tekanan (pressure drop) sepanjang sistem pemipaan tersebut. Apabila kita plot kurva antara pressure drop vs flow, maka akan terbentuk kurva seperti terlihat pada gambar berikut. Kurva tersebut disebut *system curve*. Pada curve ini, pressure drop terdiri dari 2 komponen, yaitu *static pressure* antara dua titik sebagai titik acuan dan *dynamic pressure drop* sebagai akibat dari adanya friksi aliran sepanjang sistem pemipaan antara kedua titik acuan tersebut. *Static pressure* bernilai tetap dan tidak bergantung pada aliran/flow yang melalui system, sebaliknya *dynamic pressure drop* berbanding lurus dengan kwadrat kecepatan alir (flowrate).



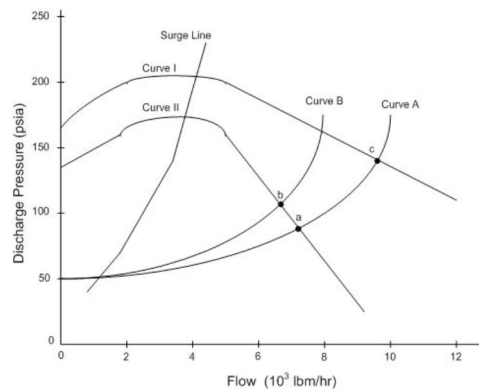
Gambar 4. Kurva antara Pressure Drop vs Suction

### Flow

System curve tidak bergantung pada sumber atau compressor (penyuplai gas), jadi meskipun terjadi perubahan pada peralatan suplai gas, system curve tidak berubah. System curve akan berubah jika terjadi perubahan pada system, misalnya perubahan ukuran pipa atau membuka atau menutupnya valve. Seperti terlihat pada gambar diatas, jika valve membuka (friksi sistem berkurang), maka flow akan bertambah dan pressure drop berkurang, system curve akan bergeser ke kanan (curve b). Sebaliknya jika valve menutup (friksi bertambah), maka system curve akan bergeser ke kiri (curve c).

### 4. Compressor Operating Point

Ketika compressor dikoneksikan dengan system, titik operasi (*operating point*) dari compressor tersebut dapat diperoleh dengan meletakkan system curve dan compressor performance curve dalam suatu curve. Titik perpotongan antara kedua curve tersebut merupakan titik operasi dari compressor, seperti



Gambar 5. System Curve dan Compressor Performance Curve

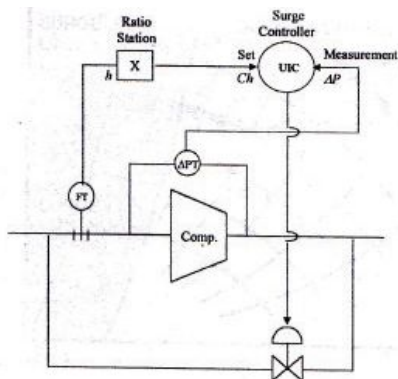
Besarnya flow dan pressure yang dihasilkan oleh compressor bisa dibaca pada titik perpotongan tersebut. Titik operasi dapat digeser dengan cara mengubah system curve (dari titik a ke titik b) atau mengubah performance curve (dari titik a ke titik c). Prinsip inilah

yang mendasari cara kerja compressor control yaitu menjaga titik operasi di lokasi tertentu pada curve.

## B. Dasar-Dasar Antisurge Control

*Antisurge Control* adalah suatu sistem kendali yang digunakan untuk menjaga agar operasi kompresor tetap berada pada kondisi yang aman sesuai dengan harga pengendalian yang telah ditetapkan, sehingga terhindar dari kondisi *surge*.

Implementasi *antisurge control system* adalah besaran  $Q$  dan  $\Delta P$  masing-masing diukur dan dibandingkan terhadap nilai yang ditetapkan di controller. Bila ada perbedaan nilai, maka akan digunakan sebagai data untuk kegiatan koreksi dengan cara mengembalikan sebagian *output line* ke *input line* compressor seperti ditunjukkan pada gambar 5.



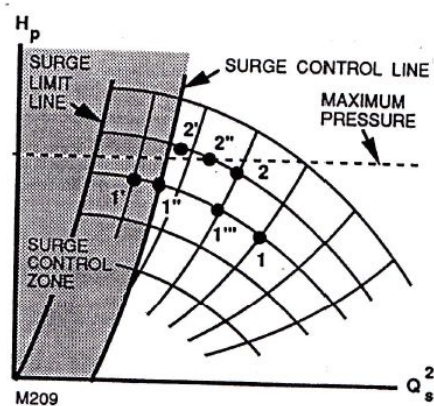
Gambar 6. Surge Compressor Control

Kerja sebuah kompresor tidak terlepas dari beberapa faktor, diantaranya *Polytropic Head* ( $H_p$ ), *Square Volumetric Flow* ( $Q_s^2$ ), Kecepatan putar kompresor ( $N$ ), *Surge Control Line* (SCL), dan *Surge Limit Line* (SLL).

*Compressor performance curve* digunakan untuk menggambarkan gejala surge pada kompresor. Kurva ini dibuat pada bidang koordinat yang dibentuk oleh *Polytropic Head* ( $H_p$ ) sebagai sumbu vertikal dan *Square volumetric flow* ( $Q_s^2$ ) sebagai sumbu horizontal. *Poly-*

*tropic Head* menunjukkan besarnya tekanan yang terjadi pada *discharge* kompresor, sedangkan kuadrat volumetric menunjukkan besarnya tekanan fluida pada *suction* kompresor. Pada bidang tersebut dapat digambarkan titik operasi (*Operating Point*), *Surge Limit Line* (SLL), dan *Surge Control Line* (SCL) pada kecepatan tertentu.

Pada kondisi normal, *operating point* berada di sebelah kanan dari SLL, dan apabila resistance kompresor semakin bertambah, maka *operating point* kompresor akan bergerak ke kiri sepanjang *compressor performance curve* dan apabila telah mencapai atau melewati garis SL, maka kompresor mengalami *surge*. Jadi agar kompresor aman dari *surge*, maka SCL harus tetap berada di sebelah kanan SLL.



Gambar 7. Operating Point vs Surge Control

Terjadinya *surge* dapat dihindari dengan jalan melakukan pengaturan jarak relative antara titik operasi dengan SLL dan SCL.

- Jarak relative antara *operating point* dengan SCL dinyatakan dalam notasi "S", dimana jika :
  - $S > 1$ , maka *operating point* berada di sebelah kiri SCL
  - $S = 1$ , maka *operating point* berada pada SCL
  - $S < 1$ , maka *operating point* berada di sebelah kanan SCL
- Jarak relative antara *operating point* de-

ngan SLL dinyatakan dalam notasi " $S_s$ ", dimana jika :

$S_s > 1$ , maka *operating point* berada di sebelah kiri SLL

$S_s = 1$ , maka *operating point* berada pada SLL

$S_s < 1$ , maka *operating point* berada di sebelah anan SLL

Sedangkan jarak *operating point* kompresor pada *display controller* diidentifikasi dengan "*Deviasi*" (Dev), dimana :  $Dev = 1 - S$

**IV. CCC Series 3 Plus Antisurge Controller**

*CCC Series 3 Plus Antisurge Controller* adalah suatu sistem proteksi dan pengendalian operasi kompresor sentrifugal dari kondisi tidak stabil yang diakibatkan adanya perubahan harga parameter/ variable operasi kompresor tersebut sehingga mengalami *surgings*. Dengan adanya sistem proteeksi tersebut, maka operasi kompresor dapat berlangsung sebagaimana mestinya (sesuai desainnya). Dengan kata lain kompresor akan stabil apabila tidak terjadi *surgings*, dimana daerah kerja kompresor berada pada daerah "*Surge Control Line - SCL*" dan belum melewati "*Surge Limit Line - SLL*".

Aksi pengendalian yang dilakukan dibagi menjadi 4 (empat) bagian, yaitu :

**A. Initial Computation Circuit**, adalah merupakan bagian yang berfungsi untuk menerima sinyal input, dan menghitung parameter polytrpic head ( $H_{p,eq}$ ) dan kuadrat flow volumetric ( $Q_s^2$ ), serta menghitung jarak relative antara titik operasi kompresor dengan SCL dan SLL. Di dalam sirkuit ini terdapat 8 *line channel*, 7 *channel* digunakan sebagai tempat sinyal input dari *transmitter analog* dan 1 *channel* (*channel* ke 8) digunakan untuk mengetahui besarnya sinyal output.

a. Koefisien K

Koefisien K didefinisikan sebagai slope dari

garis batas surge (SLL) yang besarnya adalah  $K = \cos \theta$

- Pada kompresor ideal (tidak mengalami surge), harga  $K = 0$ , atau SLL berada pada sumbu axis vertical.
- Untuk  $K = 1$ , didapat slope sebesar  $45^\circ$
- Pada kenyataannya harga K selalu lebih besar dari 0 dan harga K ini dimasukkan ke dalam kontroler melalui *engineering keyboard panel* yang mewakili bagian dari *data base* kontroler.

b. Deviasi

Deviasi di dalam kontroler didisplaykan sebagai "DEV"

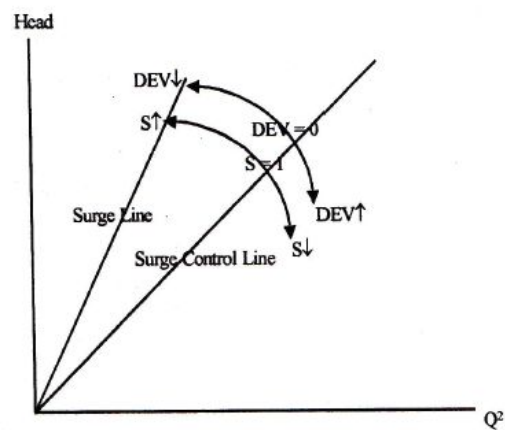
Pada *initial computation circuit*, deviasi diformulasikan :  $Dev = 1 - S$

Besarnya error yang terjadi adalah :  $e = 0,512 (1 - S)$

dimana :

$S$  = jarak relative titik operasi dengan SCL.

Hubungan antara  $S$  dengan eviasi dapat dilihat pada gambar di bawah :



Gambar 8. Hubungan deviasi terhadap S

c. Jarak antara SCL dengan SLL

Jarak antara SCL dengan SLL dinyatakan dengan  $b.f4(\Delta P_o)$ .





Dimana :

$b = b_1$ , jika *Safety On* tidak aktif

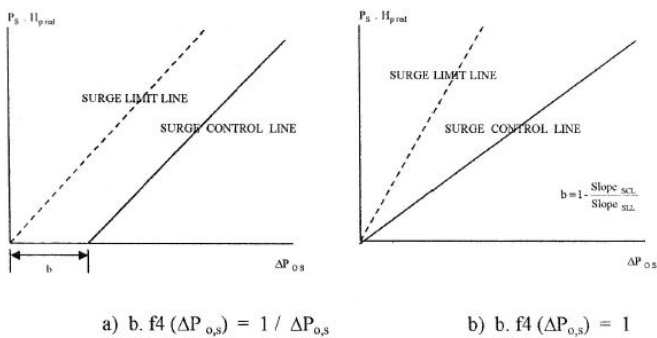
$b = b_1 + n b_2$ , jika *Safety On* aktif

$b = b_1 + n b_2 + b_3 T_d \frac{dS}{dt}$ , jika ada *derivative control response*

$\Delta P_o$  = beda tekanan aliran fluida

Harga-harga ini dimasukkan ke dalam controller melalui *engineering key pad*. Bila persamaan  $b.f4(\Delta P_o)$  berharga 1, maka jarak angular antara SLL dengan SCL berkurang sejalan dengan berkurangnya ( $\Delta P_o$ ) dan jika berharga  $\frac{1}{b}$ , maka proyeksi antara SLL dengan SCL  $\Delta P_o$  akan tetap.

Jarak relative antara SCL dengan SLL hasil perhitungan yang dilakukan oleh *Initial Computation Circuit* yang digambarkan pada bidang antara *Polytropic Head* ( $H_p$ ) dan *Quadrat flow volumetric* ( $Q_s^2$ ) dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Jarak relative SCL dengan SLL

**1. Proportional + Integral**, yaitu aksi pengendalian kontroler untuk mencegah titik operasi kompresor agar jangan sampai memotong/melewati garis SCL.

Rangkaian ini berfungsi untuk mengendalikan titik operasi dan bila terjadi suatu perubahan kecil pada inoput, rangkaian ini akan menghasilkan suatu keluaran secara proporsional dengan deviasi yang terjadi dan akan membuka *control valve* sesuai dengan outputnya. Kelu-

aran kontroler ini diatur sedemikian rupa sehingga *control valve* tetap tertutup pada saat titik operasi berada di sebelah kanan SCL dan akan membuka jika titik operasi berada di sebelah kiri SCL. Perhitungan algoritma P+I digunakan untuk mengatasi gangguan-gangguan dan dilakukan secara terpisah dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{100 \cdot e}{B}$$

$$I = I_i + \frac{100}{PB} \cdot Kr \int e \cdot dt$$

Dimana :

P = komponen *Proportional* dari output

I = komponen *Integral* dari output

$I_i$  = nilai awal komponen *Integral*

PB = konstanta *Proportional Band*

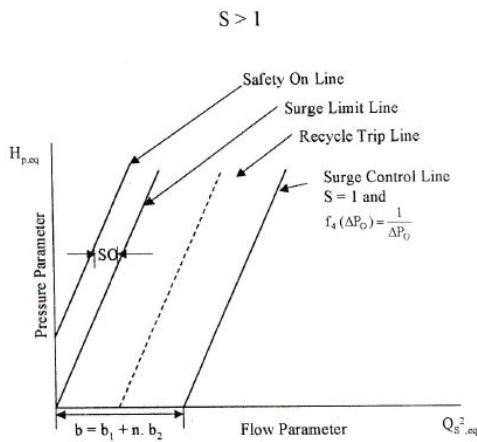
Kr = konstanta kecepatan

E = kesalahan (*error*)

Untuk menjaga harga PB agar dapat dibandingkan dengan yang diinginkan oleh sistem control, kesalahan yang digunakan pada algoritma P+I dihitung sebagai  $e = 0,512 (1 - S)$ , dan supaya harga  $S \leq 1$ , maka deviasi dari variable-variabel di atas dihitung dengan rumus  $DEV = 1 - S$  dan harga DEV ditampilkan di panel.

**3. Recycle Trip**, yaitu aksi kontroler untuk membuka *control valve* dan mensirkulasikan kembali sebagian fluida yang dikompresikan bila titik kerja kompresor memotong *Recycle Trip Line*, dengan tujuan untuk mencegah *surge*. Rangkaian *Recycle Trip* berfungsi untuk mencegah kondisi *trip* yang diakibatkan oleh gangguan yang berkecepatan tinggi dan tidak dapat dikontrol oleh rangkaian PI. *Recycle Trip* ini merupakan bagian dari *open loop system* dari algoritma pengendalian *surge* (*surge control algorithm*). Garis *Recycle Trip Line* (RTL) terletak diantara garis batas su-

rage (SLL) dan garis kendali surge (SCL). Aksi *Recycle Trip Line* dilakukan bila aksi rangkaian PI tidak mampu mengimbangi perubahan yang terjadi. Aksi *Recycle Trip* ini akan membuka *control valve* dengan cepat sehingga akan mengembalikan titik operasi kearah kanan dan menjauhi SLL.



Gambar 10. Recycle Trip Line (RTL)

Jika titik operasi berada pada SCL atau titik kerja bergerak cepat menuju RTL, maka akan berlaku persamaan sebagai berikut :

$$SRT = S_{SCL} - RT \cdot f_4(\Delta P_0)$$

Dimana :

SRT = harga S pada *Recycle Trip*

S<sub>SCL</sub> = harga S pada CL

RT = jarak antara SC dengan RTL  $C = C_1 \cdot T_d \cdot \frac{dS}{dt}$  = derivative dari S terhadap waktu

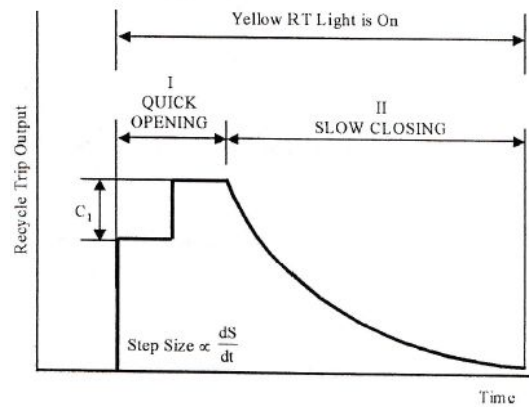
Jika titik operasi bergerak ke kiri dari RTL, maka kontroler akan membuka *Antisurge Control Valve* dalam satu langkah berurutan.  $C = C_a \cdot \left( T_d \cdot \frac{dS}{dt} \right)$  selalu lebih kecil dari satu, atau

$$C = C_1 \cdot \left( T_d \cdot \frac{dS}{dt} \right) \leq C_1 \text{ yang menyatakan :}$$

$$0 \leq \text{Step size} \leq C_1$$

$$\text{Untuk gangguan maksimum, maka } C = C_a \cdot \left( T_d \cdot \frac{dS}{dt} \right) = C_1$$

Harga C<sub>1</sub> dimasukkan ke dalam kontroler melalui *engineering panel* sebagai data yang ak-



Gambar 11. Typical Recycle Trip Response

Setelah membuka secara cepat dalam beberapa langkah, *Antisurge Control Valve* akan menutup perlahan-lahan secara eksponensial dengan konstanta waktu untuk memungkinkan PI berubah menjadi kondisi operasi yang baru. Banyaknya langkah dari aksi *Recycle Trip* untuk membuka *Antisurge Control Valve* adalah tergantung pada jarak antara titik operasi dengan RTL. Nilai setiap langkah dihitung sebagai berikut :

$$C = C_1 \cdot \left( T_d \cdot \frac{dS}{dt} \right)$$

Dimana :

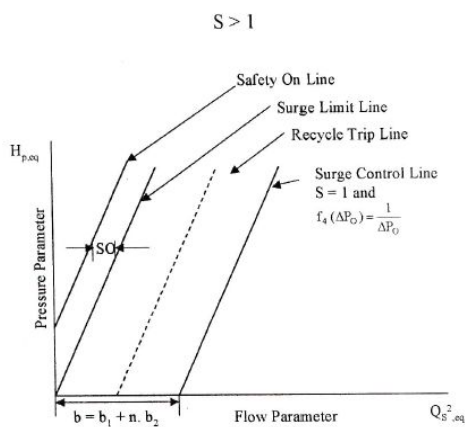
C = total magnitude perubahan

C<sub>1</sub> = penambahan amplitude *Recycle Trip*

T<sub>d</sub> = konstanta waktu derivative RT

tip dengan mode  $fc_4$ . Perubahan langkah akan berlanjut pada interval  $C_1$ , sepanjang titik operasi berada di sebelah kiri  $\frac{dS}{dt}$  positif. Dalam gangguan untuk mengurangi aspek *derivative* karena *noise* dari pengukuran aliran, maka mode  $fc_4$  akan off. Jika titik operasi kembali berada di kanan RTL serpon RT akan menurun secara eksponensial.

**4. Safety On Line**, yaitu aksi kontroler untuk secepatnya menghentikan *surge* yang akan terjadi, sehingga *surge* yang berkelanjutan dapat dihentikan. *Safety On Line* adalah bagian dari unit algoritma yang mendeteksi *surging* dan mencegah kompresor dari *surge* yang berkelanjutan dan akan dapat merusak kompresor. *Safety On Line* (SOL) terletak di sebelah kiri SLL dan jarak relative antara titik operasi dengan garis *Safety On Line* adalah "SO", seperti pada gambar berikut.



Gambar 12. Safety On Line

*Safety On* akan memberikan aksi bila titik operasi memotong *Safety On Line*. Keadaan ini memungkinkan bila terjadi pergerakan titik operasi dengan cepat ke arah kiri, sedangkan baik PI sirkuit maupun *Recycle Trip* tidak mampu lagi untuk member aksi yang cepat untuk menggerakkan titik operasi (OP) tersebut ke arah kanan dari SCL. Jarak SO dimasukkan ke dalam kontroler dengan menggunakan persamaan :  $S_s - S_o \cdot f_4(\Delta P_{O,S}) = 1$

Dimana :

$S_s$  = harga S pada *Safety On Line*

$S_o$  = jarak relative antara titik operasi dengan SCL

Jika rangkaian *Safety On Line* aktif, nilai b ditambahkan dengan step  $b_2$  (SPEC RESP. $b_2$ ). Penambahan b berlanjut untuk siklus *surge* yang selanjutnya dan nilai b pada *Initial Computation Circuit* menjadi :

$$b = b_1 + n \cdot b_2$$

Dimana :

n = jumlah siklus *surge*

Setiap penambahan nilai b akan menggerakkan SCL dan RTL ke kanan menjauhi SCL sejauh  $n \cdot b_2$ , sehingga *Safety Margin* menjadi lebih besar dan tak mungkin titik operasi mendekati SLL. Perhitungan pada unit ini menggunakan formula sebagai berikut :

$$b = b_1 + n \cdot b_2 + C_{1.3} \cdot T_d \cdot \frac{dS}{dt}$$

Pada saat awal harga n diset 0 (nol), kemudian harga ini bertambah untuk setiap pergerakan titik operasi ke arah kanan dari *Safety In Line*, pergerakan ke kanan ini berlangsung cepat dan akan membuat jarak yang besar antara titik operasi dengan SLL.

**IV. Perhitungan CCC Series 3 Plus Antisurge Controller Mode fA 40**

CCC Series 3 Plus Antisurge Controller Mode fA 40 digunakan untuk menghitung jarak relative antara Operating Point (OP) terhadap *Surge Control Line* (SCL) dengan menggunakan persamaan :

$$S = \left[ \frac{K \cdot H_{p,red} \cdot \left(\frac{P_s^2}{P_d}\right) \cdot \left(\frac{T_d}{T_s}\right) \cdot f_3(N)}{\Delta P_{O,d}} \right] + b \cdot f_4(\Delta P_o)$$



$$H_{p,red} = \frac{\left(\frac{P_d}{P_s}\right) - 1}{\sigma}$$

adalah merupakan *Polythropic Head* yang direduksi, dan

$$\sigma = \frac{\log\left(\frac{T_d}{T_s}\right)}{\log\left(\frac{P_d}{P_s}\right)}$$

adalah merupakan *Polythropic Exponent*

Dimana :

S = jarak relative antara titik operasi (OP) dengan SCL

$T_d$  = discharge temperature, °K

$T_s$  = suction temperature, °K

$P_d$  = discharge pressure, k Pa

$P_s$  = suction pressure, k Pa

$f_3(N)$  = fungsi karakteristik batas surge relative terhadap kecepatan.

N = kecepatan putaran kompresor, rpm

$\sigma$  = polythropic exponent

$b.f_4(\Delta P_O)$  = jarak proportional antara SCL dengan SLL

K = koefisien kemiringan SLL, yang didefinisikan sebagai :

$$\tan^1 = \left(\frac{\Delta P_O}{P_s \cdot H_{p,red}}\right), \text{ sedangkan kemiringan}$$

SLL pada controller adalah  $\theta = 1/k$

Besarnya jarak relative antara SLL dengan titik operasi adalah :

$$S_s = \frac{K \cdot P_s \cdot \frac{R_c^\sigma - 1}{\sigma} \cdot R_c^{\sigma-1}}{\Delta P_O}$$

Dimana :

$R_c$  adalah rasio kompresi yang besarnya :

$$R_c = \frac{P_d}{P_s}$$

Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai input analog :

$$PV_1 = \Delta P_O \text{ (Input channel 1)}$$

$$PV_2 = P_d \text{ (Input channel 2)}$$

$$PV_3 = P_s \text{ (Input channel 3)}$$

$$PV_4 = N \text{ (Input channel 4)}$$

$$PV_5 = T_d \text{ (Input channel 5)}$$

$$PV_6 = T_s \text{ (Input channel 6)}$$

Dimana masing-masing variabel dihitung dengan suatu Gain dan Bias sinyal variabel yang bersangkutan, menurut persamaan sebagai berikut :

$$PV_n = GAIN_n \cdot SV_n + BIAS_n$$

SV = sinyal variabel yang berkaitan dengan input

Misal :

$$PV_1 = \Delta P_O = GAIN_1 \cdot SV_1 + BIAS_1$$

$$PV_2 = P_d = GAIN_2 \cdot SV_2 + BIAS_2, \text{ dst.}$$

GAIN dan BIAS digunakan untuk menghasilkan skala (*to scale*) input transmitter untuk diimplementasikan ke dalam *antisurge controller algorithm*.

- GAIN akan memerintahkan kontroler untuk menerima *input transmitter suction (pressure, temperature)* dalam skala yang sama seperti *input* dari *discharge transmitter*.
- BIAS akan mengubah *pressure* dan *temperature* menjadi satuan absolute.

*Characterize*  $f_3(N)$  diset dalam *antisurge controller* menggunakan argument (X) yang menunjukkan speed (N).

$$f_3 = \frac{\Delta P_{O_d} \cdot \left(\frac{P_d}{P_s}\right) \cdot \left(\frac{T_s}{T_d}\right)}{K \cdot \left(\frac{T_d}{T_s}\right) \cdot \frac{\log\left(\frac{P_d}{P_s}\right)}{\log\left(\frac{T_d}{T_s}\right)} \cdot P_s}$$



Jika  $K = 0,5$ , maka :

$$f3(X) = \frac{\Delta P_{o,d} \cdot \left(\frac{P_d}{P_s}\right) \cdot \left(\frac{T_s}{T_d}\right)}{0,5 \cdot \left(\frac{T_d}{T_s}\right) \cdot \frac{\log\left(\frac{P_d}{P_s}\right)}{\log\left(\frac{T_d}{T_s}\right)} \cdot P_s}$$

Dimana :

$$X = \frac{N - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}}$$

$N_{\min}$  dan  $N_{\max}$  menunjukkan batas tertinggi dan terendah dari kecepatan putaran kompresor. Untuk menghitung  $\Delta P'_{o,d}$  maka terlebih dahulu dicari harga-harga :

$$T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s}\right)^\sigma \quad (^\circ K)$$

$$\sigma = \frac{K-1}{K\eta}$$

$$\Delta P_{o,d} = \left(\frac{Q_d}{A}\right)^2 \cdot \rho_d \quad (\text{kPa})$$

Dimana :

$$Q_d = Q_s \cdot \frac{P_s \cdot T_d \cdot Z_d}{P_d \cdot T_s \cdot Z_s} \quad (\text{m}^3/\text{hr})$$

$Q_d$  = merupakan aliran gas yang mengalir pada aliran *discharge*.

$Z_d, Z_s$  = factor kompresibilitas *discharge* dan *suction*

$\rho_d = \frac{MW \cdot P_d}{Z_d \cdot R_o \cdot T_d}$ , adalah merupakan ke-  
rapatan gas pada aliran *discharge*.

Dimana :

MW = berat melekul gas

$R_o = 8,3144 \text{ Nm/g.mol.K}$  (konstanta gas universal)

$P_d$  = tekanan aliran *discharge*

$T_d$  = temperatur aliran *discharge*

Variabel-variabel tersebut diimplementasikan dalam *antisurge controller* sebagai :

$$\Delta P_{o,d} = \text{GAIN}_1 \cdot \text{CH}_1 + \text{BIAS}_1$$

$\text{CH}_1 = \frac{\Delta P_{o,d}}{\Delta P_{o,\text{span}}}$ , adalah harga input *antisurge controller*

Dimana :

$\Delta P_{o,d}$  = beda tekanan pada output *discharge*

$\Delta P_{o,\text{span}}$  = span *pressure transmitter*

Data kondisi operasi kompresor adalah sbb. :

- Tekanan hisap ( $P_s$ ) = 14,83 kg/cm<sup>2</sup> a = 1.454,38 kPa a
- Tekanan buang ( $P_d$ ) = 52,46 kg/cm<sup>2</sup> a = 5.144,75 kPa a
- Suhu fluida hisapan ( $T_s$ ) = 35,6 °C = 306,6 °K
- Suhu fluida hisapan ( $T_d$ ) = 139,1 °C = 412,1 °K
- Kecepatan putar (N) = 4.592 rpm
- Jml. Aliran fluida ( $Q_d$ ) = 18.500 m<sup>3</sup>/jam

Komposisi *Multi Component Refrigerant* (MCR) :

- Nitrogen (N) = 0%
- Methane (CH<sub>4</sub>) = 8,5%
- Ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) = 0%
- Propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) = 0,05%
- Buthane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) = 0,37%
- Berat melekul (MW) = 16,40

Berdasarkan data operasi di atas, maka dapat dihitung untuk mengetahui kondisi operasi kompresor pada saat itu, sbb. :

1. Perhitungan Faktor Kompresibilitas Buangan (Z)

Berdasarkan data kompresor, dapat dihitung harga *Critical Pressure* ( $P_c$ ) dan *Critical Temperature* ( $T_c$ ) sebagai berikut :

$$P_c = \frac{\text{Absolute Pressure (kg/cm}^2\text{a)}}{\text{Critical Pressure (kg/cm}^2\text{a)}} = \frac{14,83 \text{ kg/cm}^2\text{a}}{43,4 \text{ kg/cm}^2\text{a}} = 0,34$$

$$T_c = \frac{\text{Absolute Temperature (}^\circ\text{K)}}{\text{Critical Temperature (}^\circ\text{K)}} = \frac{306,6^\circ\text{K}}{369,9^\circ\text{K}} = 0,83$$

Dari hasil perhitungan *Critical Pressure* ( $P_c$ ) dan *Critical Temperature* ( $T_c$ ), maka didapatkan faktor kompresibilitas buangan ( $Z$ ) sebesar 0,77.

## 2. Perhitungan beda tekanan pada aliran discharge - $\Delta P_{o,d}$

Untuk mendapatkan beda tekanan pada aliran discharge dapat dilakukan dengan cara mengukur jumlah aliran volumetric yang melewati *Lo-Loss Venturi Tube* yang terdapat pada aliran discharge kompresor, dengan menggunakan rumus :

$$\Delta P_{o,d} = \frac{Q^2 \cdot \rho}{(N \cdot F_a \cdot C \cdot Y \cdot E \cdot \beta^2 \cdot D^5)^2} [\text{kPa}]$$

$$\rho d = \frac{\text{MW} \cdot P_d}{Z_d \cdot R_0 \cdot T_d}$$

Dimana :

MW = berat molekul

$P_d$  = tekanan buangan (*discharge pressure*)

$T_d$  = suhu buangan (*discharge temperature*)

$Z$  = factor kompresibilitas buangan

Dari data kondisi operasi kompresor di atas, maka besarnya density yang mengalir adalah:

$$\rho d = \frac{16,4 \cdot 5144,75}{0,77 \cdot 8,31441 \cdot 412,1} = \frac{84373,9}{2580,2445} = 32,7 \text{ kg/cm}^3$$

Diasumsikan bahwa besarnya aliran maksimum ( $Q_{maks}$ ) yang mengalir melalui saluran *discharge* kompresor adalah sebesar 32% di atas jumlah aliran volumetric yang mengalir

melalui aliran buangan ( $Q_d$ ) kompresor, sehingga :

$$Q_{maks} = (32\% \times 18.500) + 18.500 = 24.420 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Besarnya beda tekanan aliran volumetric adalah :

$$\Delta P_{o,d} = \frac{(24.420)^2 \cdot 32,7}{(0,1264467 \cdot 1 \cdot 0,74 \cdot 0,9902 \cdot 1,2489 \cdot (0,774)^2 \cdot (560,9659)^2)}$$

$$= 40,9779 \text{ kPa}$$

$$= 4185,1958 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Besarnya input yang masuk ke *controller* :

$$\bullet \quad Ch_1 = \frac{\Delta P_0}{\Delta P_{0,Span}} = \frac{4.185,1958 \text{ mmWC}}{5000 \text{ mmWC}} = 0,837$$

$$\bullet \quad Ch_2 = \frac{P_d}{P_{d,Span}} = \frac{52,46 \text{ kg/cm}^2\text{a}}{60 \text{ kg/cm}^2\text{a}} = 0,874$$

$$\bullet \quad Ch_3 = \frac{P_s}{P_{s,Span}} = \frac{14,83 \text{ kg/cm}^2\text{a}}{20 \text{ kg/cm}^2\text{a}} = 0,742$$

$$\bullet \quad Ch_4 = \frac{N}{N_{Span}} = \frac{4.592 \text{ rpm}}{6000 \text{ rpm}} = 0,7603$$

$$\bullet \quad Ch_5 = \frac{\Delta T_d}{T_{d,Span}} = \frac{139,1^\circ\text{C}}{200^\circ\text{C}} = 0,695$$

$$\bullet \quad Ch_6 = \frac{\Delta T_s}{T_{s,Span}} = \frac{35,6^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C}} = 0,119$$

$$\Delta P'_{o,d} = \text{GAIN}_1 \cdot Ch_1 + \text{BIAS}_1$$

$$= 0,999 \cdot 0,837 + 0$$

$$= 0,836$$

$$P'_s = \text{GAIN}_3 \cdot Ch_3 + \text{BIAS}_3$$

$$= 0,333 \cdot 0,742 + 0$$

$$= 0,247$$

## 3. Perhitungan Jarak relative antara *Surge Limit Line* (SLL) terhadap Titik operasi (OP) " $S_s$ "

Untuk menghitung jarak relatif antara titik operasi (OP) terhadap *surge limit line* (SLL) menggunakan persamaan :



$$S_s = \frac{K \cdot P_s \cdot \frac{R_c^\sigma - 1}{\sigma} \cdot R_c^{\sigma-1}}{\Delta P_{o,d}}$$

Dimana :

$$K = 0,5$$

Besarnya rasio kompresibilitas ( $R_c$ ) =

$$R_c = \frac{P_d}{P_s} = \frac{5144,75}{1454,8} = 3,5374$$

Besarnya *exponent polytropic* ( $\sigma$ ) =

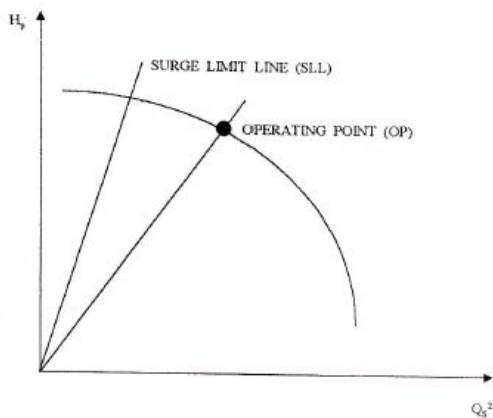
$$\sigma = \frac{\log\left(\frac{T_d}{T_s}\right)}{\log\left(\frac{P_d}{P_s}\right)} = \frac{\log\left(\frac{412,1}{306,6}\right)}{\log\left(\frac{5144,75}{1454,38}\right)} = \frac{0,1284}{0,5487} = 0,2340$$

Maka harga

$$S_s = \frac{0,5 \cdot 1554,38 \cdot \frac{3,5374^{0,2340} - 1}{0,2340} \cdot 3,5374^{0,2340-1}}{4185,2264}$$

$$= 0,097032$$

Karena  $S_s < 1$ , maka titik operasi (OP) berada di sebelah kanan *Surge Limit Line* (SLL), hal ini berarti kompresor tidak mengalami *surging*. Posisi titik operasi (OP) terhadap *surge limit line* (SLL) dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 13. Jarak relative OP terhadap SLL

#### 4. Perhitungan Jarak relative antara Operating Point (OP) terhadap Surge Control

#### Line (SCL) – “S”

Perhitungan yang digunakan untuk menghitung jarak relative antara titik operasi (OP) terhadap *surge control line* (SCL) pada *Antisurge Controller* mode fA 40 adalah :

$$S = \left[ \frac{K \cdot H_{p,red} \cdot \left(\frac{P_s^2}{P_d}\right) \cdot \left(\frac{T_d}{T_s}\right) \cdot f_3(N)}{\Delta P_{o,d}} \right] + b \cdot f_4(\Delta P_{o,d})$$

Dimana :

$$K = 0,5$$

$$H_{p,red} = \frac{\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^\sigma - 1}{\sigma} = \frac{\left(\frac{52,46}{P_s}\right)^{0,2340} - 1}{0,2340} = 1,470$$

$$b = b_1 + n \cdot b_2 + b_3 \cdot T_{o,d} \cdot \frac{dS}{dt} \quad \text{dan} \quad n = 2$$

$$= 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 0,3 \cdot 0,05 \cdot 0,097032 = 0,40145$$

$$f_3(N) = 4,844$$

$$f_4(\Delta P_{o,d}) = 1,0$$

Dari hasil perhitungan di atas, kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan harga “S”, maka :

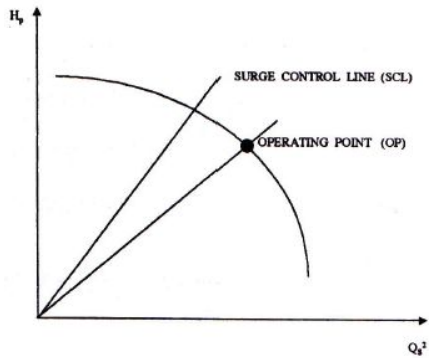
$$S = \left[ \frac{0,5 \cdot 1,470 \cdot \left(\frac{1454,38^2}{5144,75}\right) \cdot \left(\frac{412,1}{306,6}\right) \cdot 4,844}{4185,2264} \right] + 9,40145 \cdot 1,0$$

$$= \left[ \frac{0,5 \cdot 1,470 \cdot 411,1417 \cdot 1,3441 \cdot 4,844}{4185,2264} \right] + 9,40145 \cdot 1,0$$

$$= 0,87156$$

Karena  $S < 1$ , maka titik operasi (Operating Point) berada di sebelah kanan *Surge Control Line* (SCL), yang artinya bahwa kompresor beroperasi pada kondisi normal.

Posisi operating point (OP) terhadap *Surge Control Line* (SCL) dapat digambarkan sbb. :



Gambar 14. Jarak relative antara OP terhadap SCL

### 5. Perhitungan *Deviasi (Dev) Controller*

Untuk menghitung deviasi controller menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{DEV} &= 1 - S \\ &= 1 - 0,87156 = 0,12844 \end{aligned}$$

Karena deviasi hasil perhitungan positif (+), maka *Antisurge Control Valve (ASCV)* menutup, dan besarnya error yang dihasilkan controller adalah :

$$\begin{aligned} e &= 0,512 (1 - S) \\ &= 0,512 (0,12844) \\ &= 0,06576 \end{aligned}$$

### 6. Perhitungan *Output Controller*

Controller yang digunakan adalah mode P+I, maka harga outputnya adalah

$$PI_o = \frac{100}{PB} \cdot e \left( 1 + Kr \int e \, dt \right)$$

Dimana :

$$PB = \text{Proportional Band} = 100$$

$$e = \text{error} = 0,06576 \text{ (hasil perhitungan)}$$

$$Kr = \text{Konstanta reset} = 0,05$$

Dengan memasukkan data di atas, maka diperoleh output controller =

$$\begin{aligned} PI_o &= \frac{100}{PB} \cdot 0,06576 \left( 1 + 0,05 \int 0,06576 \, dt \right) \\ &= 0,06576 \cdot 1,003288 \end{aligned}$$

$$= 0,065976$$

Atau :

$$\begin{aligned} PI_o &= \frac{(20 - 4) - 0,06576}{16} \cdot 20 \text{mA} \\ &= 19,92 \text{ mA} \end{aligned}$$

### 7. Perhitungan *Bukaan Antisurge Control Valve (ASCV)*

Untuk mengetahui bukaan *Antisurge Control Valve (ASCV)* pada saat itu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{20 - \% \text{ Controller}}{16} \times 100\% \\ \frac{20 - 19,92}{16} \times 100\% = 0,5\% \end{aligned}$$

Bukaan tersebut digunakan untuk mempertahankan kondisi operasi kompresor.

## VI. Penutup

Berdasarkan hasil perhitungan data yang ada di lapangan, dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi operasi kompresor pada saat itu tidak terjadi *surge*, hal ini dibuktikan dengan adanya hasil perhitungan sebagai berikut :

1. Jarak relatif *Operating Point (OP)* terhadap *Surge Limit Line (SLL)* yang memberikan harga lebih kecil dari satu yaitu 0,097032 (OP di sebelah kanan SLL),
2. Jarak relatif antara *Operating Point (OP)* terhadap *Surge Control Line (SCL)* yang memberikan harga lebih kecil dari satu yaitu 0,87156 (OP di sebelah kanan SCL),
3. Bukaan *Antisurge Control Valve (ASCV)* sangat kecil sekali yaitu sebesar 0,5%, menandakan bahwa kondisi tersebut hanya digunakan untuk mempertahankan operasi kompresor jangan sampai terjadi *surge*.



## Daftar Pustaka

1. *CCC Series 3 Plus, Controlling and Protecting Centrifugal and Axial Compressor*, Des Moines Iowa USA, 1991.
2. *CCC Series 3 Plus, Antisurge Controller Configuration Manual IM301/C(1)*, Des Moines Iowa USA, 1991.
3. *Chemical Engineering, Fluid Mover : Pumps, Compressor, Fans and Blower*, Mc Graw Hill, New York.
4. Spink, LK., *Principles and Practice of Flow Meter Eneering*, Foxboro Company, Massachusetts, USA, 1967.

\*) Penulis adalah Widyaisara Ahli Muda, PPSDM MIGAS