

SISTEM PENGENDALIAN LEVEL DAN TEKANAN PADA UNIT KOMPRESI GAS SYNTHESA DENGAN METODE LOGIKA FUZZY DI PT. PETROKIMIA GRESIK

Onny Purnamayudhia
Universitas Wijaya Putra

ABSTRACT

Chemical processes in the industry are gas and liquid separation. Mass balance between gas and liquid depending on the pressure and the level of the liquid surface. Gas Compression Unit Synthesa as the on going process of separation of a mixture of gas and liquid produced by methanator contained in the ammonia plant PT. Petrokimia Gresik using PID controller action in carrying out the control process. In the present study was designed a fuzzy logic control method to get better system performance. Research stage control system was conducted several tests, including Step Test, Tracking Setpoint Test, Load Test, Noise Test and Joint Test. Testing results indicate In Step Test, to control the level of the results obtained by the Fuzzy Logic controller setpoint in 42.6 seconds with a maximum overshoot $8,65.10^{-3}\%$ and steady state error $2,67.10^{-3}\%$ and to control the pressure, Fuzzy Logic Control setpoint can be reached with a time of 26.3 seconds with a maximum overshoot $6,851.10^{-3}\%$ and steady state error $3,64.10^{-3}\%$.

Keywords : Liquid, Compression, PID, Fuzzy Logic, Setpoint, Maximum overshoot, Steady state error

ABSTRAK

Proses Kimia pada Industri terdapat pemisahan gas dan liquid. Keseimbangan massa antara gas dan liquid tergantung pada tekanan dan level pada permukaan cairan. Unit Kompresi Gas Synthesa sebagai tempat berlangsungnya proses pemisahan campuran gas dan liquid yang dihasilkan oleh methanator yang terdapat di pabrik amonia PT. Petrokimia Gresik menggunakan aksi Pengendali PID dalam menjalankan proses kontrol. Pada Penelitian ini dirancang suatu metode Kontrol Logika Fuzzy untuk mendapatkan performansi sistem yang lebih baik. Tahapan penelitian sistem pengendalian ini dilakukan beberapa pengujian, diantaranya Uji Step, Uji Tracking Setpoint, Uji Beban, Uji Noise dan Uji Gabungan. Hasil Pengujian menunjukkan Pada Uji Step, untuk pengendalian level didapatkan hasil Pengendali Logika Fuzzy dengan setpoint dalam waktu 42,6 detik dengan maksimum overshoot $8,65.10^{-3}\%$ dan error steady state $2,67.10^{-3}\%$ dan untuk pengendalian tekanan, Kontrol Logika Fuzzy dapat mencapai setpoint dengan waktu 26,3 detik dengan maksimum overshoot $6,851.10^{-3}\%$ dan error steady state $3,64.10^{-3}\%$.

Kata Kunci : Liquid, Kompresi, PID, Logika Fuzzy, Setpoint, Maksimum overshoot, error steady state

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang berkembang di dunia industri dibutuhkan tidak hanya alat teknologi untuk menunjang performansi sistem namun juga suatu metode analisis yang dikenal sebagai suatu sistem pengendali yang disebut *intelligent control* yang merupakan suatu alternatif baru dalam dunia *controlling*.

Pada studi kasus di PT. Petrokimia Gresik unit pembuatan amonia terdapat beberapa proses. Diantaranya yang dinamakan kompresi *Synthesa Gas* sebagai *raw material*, gas bakal amonia tersebut ditingkatkan tekanannya untuk proses lebih lanjut pada *Ammonia Conversion* menjadi amonia cair. Pada plan ini terjadi gangguan berupa perubahan tekanan yang terjadi pada unit kompresi gas *synthesa* dikarenakan perubahan pada proses sebelumnya yang mengganggu aliran masukan gas *synthesa*, selain itu juga level dalam unit juga dijaga agar liquid yang masuk tidak ikut tertarik oleh kompressor sehingga kontroler PID yang terpasang tidak mampu mengatasi perubahan yang terjadi.

Kontrol Logika Fuzzy merupakan suatu metode kendali didasarkan pada sejumlah aturan jika-maka dari logika fuzzy yaitu logika tiruan cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan, yang pada dasarnya memberikan cara yang efektif dalam merespon segala bentuk kejadian nyata yang penuh ketidakpresisian (*inexact*). Terutama dalam dunia kontrol, dimana perilaku sistem yang sebenarnya mengandung ketidak-presisian dapat dinyatakan dalam bahasa natural, sehingga aksi kontrol yang diambil juga dalam bahasa natural.

Dengan berbagai karakteristik yang dimiliki oleh kontrol logika fuzzy, maka Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengendalikan level dan tekanan pada *Synthesa Gas Compression Unit* di PT. Petrokimia Gresik agar diperoleh sistem dengan performansi yang lebih baik dari pada sistem pengendalian yang sudah ada.

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan suatu pokok permasalahan dari penelitian yaitu : Sistem yang dikendalikan adalah SIMO (Single Input Multi Output), variabel terkendali adalah level dan tekanan, temperatur pada unit kompresi gas *synthesa* dianggap konstan, Adanya interaksi pada pasangan input-output dari fungsi

transfer dengan metode *de-coupling*, Pemodelan matematis plant didekati secara linier dan parameter konstan, Pengendali logika fuzzy yang dirancang merupakan jenis statik dengan keanggotaan berbentuk segitiga, Defuzzifikasi dengan metode COA.

TINJAUAN PUSTAKA

Logika Fuzzy

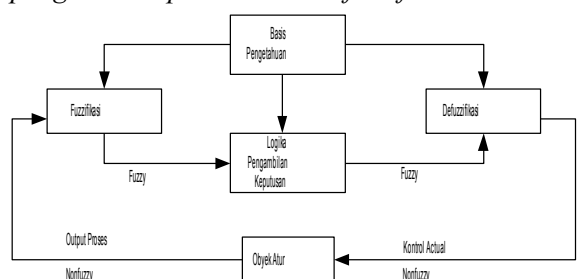
Fuzzy dalam artian harfiah berarti kabur /samar, maka logika fuzzy dapat diartikan sebagai logika samar. Teori himpunan fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965.

Perancangan pengendali logika fuzzy menggabungkan aspek pen- definisian himpunan fuzzy dengan aspek logika fuzzy yang keduanya diterapkan pada masukan dan keluaran untuk memperoleh hasil perancangan yang berbentuk suatu algoritma aturan fuzzy. Pengendali fuzzy menggunakan aturan- aturan linguistik pertama kali di- aplikasikan pada tahun 1974 oleh Mamdani, yang menggunakan metode teoritis Zadeh. Aturan diberikan dalam bentuk:

$R_i = \text{"jika } x \text{ adalah } A_i \text{ maka } y \text{ adalah } B_i$

Struktur Dasar Pengendali Logika Fuzzy

Dalam *Kontroller Logika Fuzzy* (KLF) ini sinyal masukan dari plant dikuantisasikan ke dalam beberapa tingkat nilai seperti *big*, *medium*, *small* dan *zero*. Secara umum KLF mempunyai empat bagian yaitu : *fuzzifikasi*, *basis pengetahuan*, *logika pengambil keputusan* dan *defuzzifikasi*.



Gambar 1. Struktur Dasar Kontroller Logika Fuzzy

Keempat bagian tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Fuzzifikasi
berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat crisp (bukan fuzzy) ke himpunan fuzzy dengan menggunakan operator fuzzifikasi.
- Basis Pengetahuan
berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah – daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya dalam perangkat aturan kontrol.
- Logika Pengambil Keputusan
merupakan inti dari KLF yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi atur fuzzy disimpulkan dengan menggunakan implikasi fuzzy dan mekanisme inferensi fuzzy.
- Defuzzifikasi
berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat fuzzy menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat crisp dengan menggunakan operator defuzzifikasi.

Unit Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan suatu proses pemetaan dari input (*crisp*) ke bentuk himpunan fuzzy dalam variasi semesta pembicaraan input. Proses ini dinyatakan sebagai :

$$X = Fuzzifier (X_0)$$

.....(2.1)

Dimana X_0 merupakan vektor dari nilai crisp untuk satu variabel input dari proses, sedangkan X merupakan vektor dari himpunan fuzzy terdefinisi untuk variabel input, dan *Fuzzifier* merupakan suatu operator fuzzifikasi dengan efek yang memetakan data crisp ke himpunan fuzzy.

Unit Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Basis pengetahuan terdiri dari basis data yang mengandung definisi fungsi keanggotaan fuzzy sebagai nilai dari masing-masing variabel dan basis aturan yang berisi aturan fuzzy yang memetakan nilai-nilai fuzzy masukan ke nilai-nilai fuzzy keluaran.

Unit Defuzzifikasi

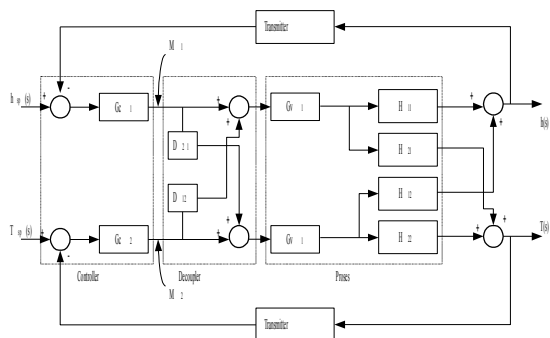
Defuzzifikasi berfungsi untuk memetakan kembali nilai inferensi yang masih berbentuk fuzzy menjadi variabel bukan fuzzy (*crisp*) sebagai keluaran yang merupakan sinyal kendali untuk mengendalikan suatu sistem. Bentuk umum proses defuzzifikasi dinyatakan dengan:

$$Z_0 = defuzzier (z).....(2.2)$$

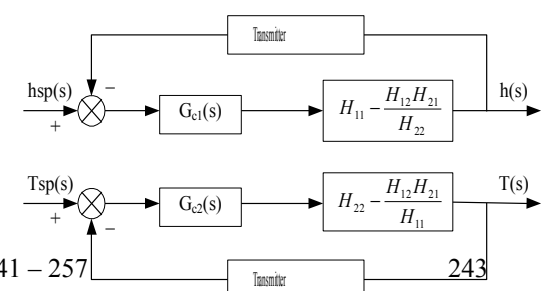
dimana z adalah aksi pengendalian fuzzy, Z_0 adalah aksi pengendali crisp, dan *defuzzifier* adalah operator defuzzifikasi.

Dekopling

Decoupler merupakan suatu alat yang digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh interaksi antar loop pada proses. Cara kerja decoupler adalah untuk mengukur perubahan variabel manipulasi loop lain dan mengambil aksi pembentukan yang tepat untuk menghilangkan pengaruh variabel manipulasi tersebut sebelum pengaruh tersebut dirasakan oleh variabel kontrol.



Gambar 2. Proses decoupling



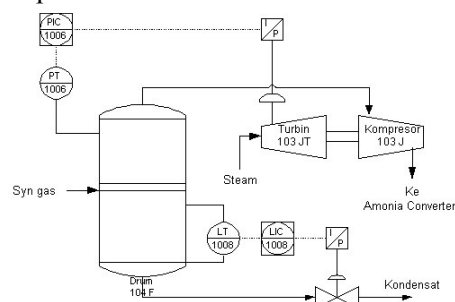
Gambar 3. Diagram ekivalen decoupling

METODE PENELITIAN

Dinamika Proses

Synthesa gas kompresi unit merupakan suatu unit yang berfungsi untuk memisahkan antara gas dan liquid. *Liquid* dan gas dapat terpisah karena dalam unit tersebut terdapat demister yang berfungsi untuk mencegah terikutnya *liquid* dalam gas. Pada unit kompresi gas synthesa, gas CH_4 (methana) dan gas yang lain (N_2 , H_2 , dan Ar) yang dihasilkan oleh methanator tersedot oleh kompresor dengan bantuan turbin sebagai drivernya dan liquid akan tertinggal di dalam dan jatuh kebawah dan dikirim menuju *Condensate Flash Tank*.

Untuk mendukung proses pada *Amonia Conversion* diperlukan tekanan berkisar 180 kg/cm^2 . Untuk itu Synthesa gas yang akan dikonversi, dinaikkan tekanannya dengan kompresor 103 J. Apabila kondisi tekanan tersebut tidak terpenuhi akan mengakibatkan lambatnya laju reaksi, pengurangan prosentase kadar amonia dengan demikian kualitas tidak tercapai secara optimal. Kompresor ini bertipe sentrifugal, dengan driver berupa turbin uap 103 JT.



Gambar 4. P&ID sistem pengendalian level dan tekanan unit (drum)

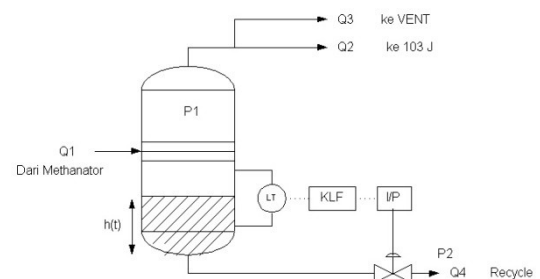
Sistem pengendalian ini bertujuan untuk mengendalikan/mempertahankan tekanan sebesar $30,6 \text{ kg/cm}^2$ dan level 5

% pada unit (yang merupakan masukan kompresor). Selain tekanan ini merupakan kebutuhan proses, apabila melebihi batas kemampuan maka unit (drum) akan meledak. Kemampuan operasi normal unit (drum) ini dirancang sampai $35,5 \text{ kg/cm}^2$. Selain mengendalikan tekanan unit (drum), level juga dikendalikan dengan tujuan agar cairan tidak akan ikut tersedot kompresor. Karena apabila cairan atau liquid ikut tersedot akan mengakibatkan rusaknya kompresor.

Dari diagram dapat dilihat bahwa untuk mempertahankan tekanan dalam unit (drum), sinyal kontroler PIC 1006 diberikan pada valve governor turbin dengan maksud memanipulasi aliran stam yang berasal dari *Steam Header* sehingga kecepatannya dapat bervariasi. Dengan berubahnya putaran driver kompresor ini akan mempengaruhi putaran kompresor sehingga aliran masukan yang berasal dari unit (drum) pun berubah, sehingga dapat menambah atau mengurangi tekanan dalam unit (drum).

Model Matematis Level

1. Fungsi Alih Proses Level



Gambar 5. Sistem pengendalian level unit (drum) synthesa gas kompresi

Keterangan :

- Q1 : Flow fluida masuk 1 (m^3/s)
- Q2 : Flow gas keluar 1 (m^3/s)
- Q3 : Flow gas keluar 2 (m^3/s)
- Q4 : Flow fluida keluar (m^3/s)
- P1 : Tekanan dalam drum (Kg/cm^2)
- P2 : Tekanan keluar dari control valve (Kg/cm^2)
- H : Tinggi permukaan liquid dalam drum (meter)

Ditinjau melalui hukum kesetimbangan massa :

$$\frac{dm(t)}{dt} = \rho_1 q_1 - \rho_2 q_2 - \rho_3 q_3 - \rho_4 q_4 \dots \dots$$

...(3.1)

$$\frac{d(\rho_L V_L)}{dt} = \rho_1 q_1 - \rho_2 q_2 - \rho_3 q_3 - \rho_4 q_4 \dots$$

...(3.2)

dimana : $d V_L = A dH$, maka persamaan (3.2) menjadi :

$$\rho_L A \frac{dH}{dt} = \rho_1 q_1 - \rho_2 q_2 - \rho_3 q_3 - \rho_4 q_4$$

...(3.3)

Untuk aliran fluida yang melewati valve digunakan persamaan seperti dibawah ini:

$$q_4 = C_v f(t) \sqrt{\frac{\Delta P(t)}{G}}$$

...(3.4)

dimana:

q_4 : Laju aliran fluida yang keluar melalui control valve (m^3/s)

C_v : Koefisien Valve

f : Flow yang melalui control valve maksimum 100 dan minimum 0 (%)

ΔP : Pressure drop yang melalui control valve (Kg/cm^2)

G : Specific Gravity fluida

Sedangkan pressure drop pada control valve diperoleh dengan persamaan :

$$\Delta P = P_1 + \rho_L gh - P_2$$

...(3.5)

dimana:

P_1 : Tekanan dalam unit (drum) Synthesa Gas Kompresor (Kg/cm^2)

P_2 : Tekanan setelah melewati control valve (Kg/cm^2)

ρ_L : Massa jenis fluida (Kg/m^3)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

h : Tinggi fluida dalam drum (meter)

Jika persamaan (3.5) disubstitusikan ke persamaan (3.4) diperoleh :

$$q_4 = C_v f(t) \sqrt{\frac{P_1 + \rho_L gh - P_2}{G}}$$

...(3.6)

Dan persamaan (3.6) disubstitusikan ke persamaan (3.3) maka dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho_L A \frac{dH}{dt} = \rho_1 q_1(t) - \rho_2 q_2(t) - \rho_3 q_3(t) - \rho_4 C_v f(t) \sqrt{\frac{P_1(t) + \rho_L gh(t) - P_2}{G}}$$

...(3.7)

Komponen-komponen yang tidak linier dilinierkan dengan menggunakan deret Taylor. Didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_L A \frac{dH}{dt} + K_2 \rho_4 C_v f(t) H = \rho_1 Q_1 - \rho_2 Q_2 - \rho_3 Q_3 - K_1 \rho_4 F - K_2 \rho_4 P$$

...(3.8)

Dengan memasukkan data-data plan, didapatkan model matematis level:

$$H(s) = \frac{9,1069 \cdot 10^{-1}}{s + 0,7232} Q_1(s) - \frac{8,4253 \cdot 10^{-2}}{s + 0,7232} Q_2(s) - \frac{8,4253 \cdot 10^{-2}}{s + 0,7232} Q_3(s) - \frac{4,9975 \cdot 10^{-2}}{s + 0,7232} F(s) - \frac{8,201 \cdot 10^{-2}}{s + 0,7232} P(s)$$

...(3.9)

2. Elemen Transmitter Level

Pada transmitter level ini bekerja pada range 0 mm – 500 mm atau (0 m – 0,5 m) yang merupakan span masukan sedangkan sinyal keluarannya berupa sinyal elektrik yaitu 4 – 20 mA karena media pengirimnya berupa elektrik maka time konstan yang terjadi sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Dari data-data yang ada maka gain dari level transmitter adalah :

$$G_T = \frac{SpanOutput}{SpanInput} = \frac{(20 - 4)mA}{(0,5 - 0)m} = 32 \frac{mA}{m}$$

...(3.10)

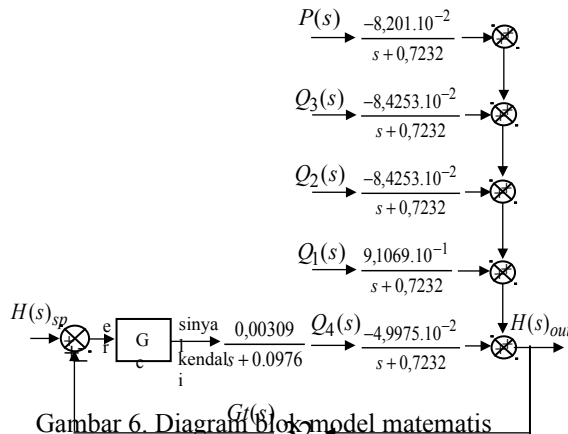
3. Elemen Pengendali Akhir(Control Valve) Level

Control valve yang digunakan pada sistem pengendalian level adalah berjenis Globe valve.

Fungsi alih kontrol valve:

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{0,00309}{s + 0,0976} \dots (3.11)$$

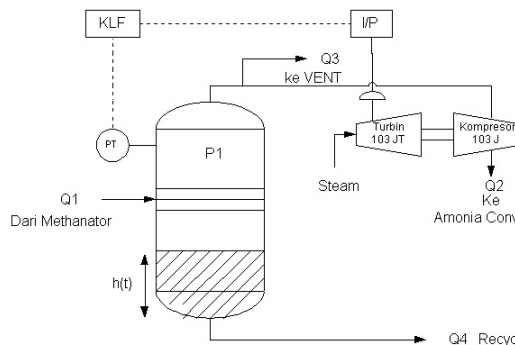
Sehingga fungsi transfer dari level adalah seperti pada gambar 6 dibawah ini:



Gambar 6. Diagram blok model matematis level pada unit (drum) synthesa gas kompresi

3. Model Matematis Tekanan

1. Fungsi Alih Proses Tekanan



Gambar 7. Sistem Pengendalian Tekanan unit (drum) Synthesa Gas Kompresi

Pada pemodelan matematis tekanan ini menggunakan asumsi bahwa level dan temperatur dalam keadaan konstan. Dari gambar 7 dapat ditulis persamaan matematis untuk pressure sebagai berikut :

$$C \frac{dP(t)}{dt} = \rho_1 q_1(t) - \rho_2 q_2(t) - \rho_3 q_3(t) - \rho_4 q_4(t) \dots (3.12)$$

dimana:

$$C = \frac{M^{AV} V}{RT} = \text{Kapasi tan si _ Tanki} \dots$$

(3.13)

$$\rho_2 = \frac{M_v^{AV} P}{RT} \dots (3.14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.14) ke dalam persamaan (3.12) maka diperoleh :

$$C \frac{dP}{dt} = \rho_1 q_1(t) - \frac{M_v^{AV} P(t)}{RT} q_2(t) - \rho_3 q_3(t) - \rho_4 q_4(t) \dots (3.15)$$

dimana :

- Q_1 : Laju fluida masuk 1 (m^3/s)
- Q_2 : Laju gas keluar 1 (m^3/s)
- Q_3 : Laju gas keluar 2 (m^3/s)
- Q_4 : Laju liquid keluar (m^3/s)

Untuk dapat menyelesaikan persamaan (3.15) maka harus dilinierisasikan sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$P(s) = \frac{\rho_1}{Cs + KQ_2} Q_1(s) - \frac{K\bar{P}}{Cs + KQ_2} Q_2(s) - \frac{\rho_3}{Cs + KQ_2} Q_3(s) - \frac{\rho_4}{Cs + KQ_2} Q_4(s) \dots (3.19)$$

Dengan memasukkan data – data dari plant maka didapat model matematis tekanan :

$$P(s) = \frac{0,77188}{s + 0,8132} Q_1(s) - \frac{1,4761}{s + 0,8132} Q_2(s) - \frac{1,2437 \cdot 10^{-2}}{s + 0,8132} Q_3(s) - \frac{1,07338}{s + 0,8132} Q_4(s) \dots (3.20)$$

2. Elemen Transmitter Tekanan

Transmitter yang digunakan pada sistem pengendalian tekanan adalah model *Pressure Gage Transmitter* buatan Rosemount. Dari data-data yang ada maka gain dari tekanan adalah:

$$G_\tau = \frac{\text{SpanOutput}}{\text{SpanInput}} = \frac{(20 - 4) \text{mA}}{(40 - 20) \text{kg/cm}^2} = 0,8 \frac{\text{mA.cm}^2}{\text{kg}} \dots (3.21)$$

3. Elemen Pengendali Akhir Tekanan

a. Model Matematis Governor Valve

Governor valve berfungsi mengatur laju aliran uap yang menggerakkan sudu-sudu turbin. Berdasarkan data plan yang ada, didapatkan fungsi alih control valve sebagai berikut:

$$\frac{P_o(s)}{P_i(s)} = \frac{0,232}{s + 0,12} \dots (3.22)$$

b. Model Matematis Turbin Uap

Dengan menganggap sistem turbin dalam suatu kontrol volume sebagai berikut dapat diturunkan model matematika yang menghubungkan antara laju massa uap yang masuk dengan daya yang dihasilkan. Dengan data-data yang berasal dari plant didapatkan fungsi alih adalah sebagai berikut:

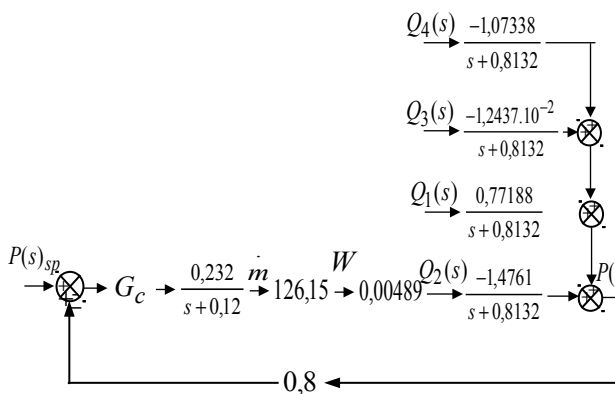
$$\frac{\dot{W}_k(s)}{\dot{m}_k(s)} = 0,87.145,3 = 126,15 kW.hr / kg \dots (3.23)$$

c. Model Matematis Kompresor

Dengan cara yang sama dengan penurunan model turbin uap, perbedaannya adalah bahwa kompresor ini menyerap usaha yang diberikan driver berupa putaran. Berdasarkan data yang didapatkan dari plan, maka didapatkan fungsi alih kompresor yaitu sebagai berikut:

$$\frac{Q_2(s)}{\dot{W}_c(s)} = \frac{1}{0,72 \times 284} = 0,00489 kg / kW.hr. \dots (3.24)$$

Sehingga fungsi transfer tekanan adalah seperti pada gambar 8. dibawah ini:

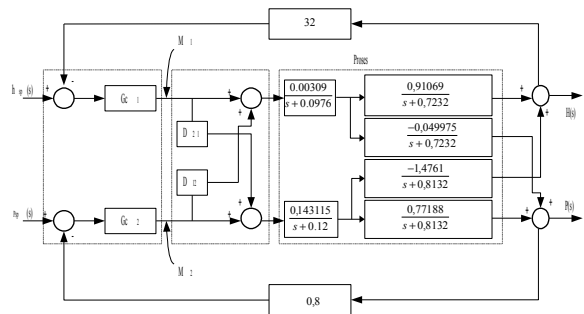


Gambar 8. Model matematis tekanan pada unit (drum) synthesa gas kompresor

4. Dekopling Pasangan Pengendali dan Keluaran

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan pada sistem instrumen

didapatkan diagram blok sistem pengendalian level dan tekanan pada unit (drum) synthesa gas kompresi dengan menambahkan dekopling untuk menghilangkan interaksi antara kedua variabel yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Pada diagram blok tersebut terdapat dua pengendali yang masing-masing untuk mengendalikan level dan tekanan yang memanipulasi laju aliran keluaran dari masing-masing aktuatur.



Gambar 9. Diagram blok level dan tekanan dengan decoupling

Persamaan input output an tekanan dalam domain laplace, dengan penurunan matematis pada persamaan 3.19 dan 3.20, diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\frac{L(s)}{L_{sp}(s)} = \frac{0,0806}{s^2 + 0,8208s + 0,07058} \dots (3.25)$$

$$\frac{P(s)}{P_{sp}(s)} = \frac{0,0791}{s^2 + 0,9332s + 0,09758} \dots (3.26)$$

5. Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

Dalam perancangan controller logika fuzzy untuk pengendali ini menggunakan controller logika fuzzy statik dimana fungsi keanggotaan (*membership function*)-nya mempunyai rentang kerja yang tetap.

Variabel input Controller Logika Fuzzy adalah error ($e(k)$) dan delta error ($de(k)$) yang dirumuskan:

$$e(k) = sp - y(k)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1)$$

dimana $y(k)$ adalah output proses pada waktu sampling ke- k , $e(k)$ merupakan

error pada sampling ke-k, $de(k)$ adalah delta pada sampling ke-k dan sp merupakan setpoint dari proses. Keluaran dari pengendali merupakan aksi kendali berupa sinyal kendali yang dinyatakan oleh Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (ZR), Positive Small (PS) dan Positive Big (PB).

Masukan dan keluaran yang terukur diskalakan dan dikuantisasi dalam suatu semesta pembicaraan untuk setiap variabel yaitu e , de dan du sebagai berikut:

$$Qe(k) = Ge \times e(k) \quad \dots(3.42)$$

$$Qde(k) = Gde \times de(k) \quad \dots(3.43)$$

$$Qdu(k) = Gdu \times du(k) \quad \dots(3.44)$$

dimana: Ge : Gain error
 Gde : Gain delta error
 Gdu : Gain kontrol

a) Strategi Fuzzifikasi

Proses pemetaan input (crisp) ke dalam bentuk himpunan fuzzy untuk semesta pembicaraan tertentu menggunakan strategi fuzzifikasi dengan memberlakukan input sensor yang berupa crisp sebagai fuzzy singleton.

Proses pemetaan dalam fuzzifikasi dinyatakan dengan :

$$X = \text{fuzzifier}(X_0) \quad \dots(3.45)$$

dimana X : vektor himpunan fuzzy

X_0 : vektor nilai crisp

Untuk singleton fuzzifier dirumuskan sebagai:

b) Basis Pengetahuan (Knowledge Base)

Basis pengetahuan terdiri dari basis data yang mengandung definisi fungsi keanggotaan fuzzy sebagai nilai dari masing-masing variabel dan basis aturan yang berisi aturan fuzzy yang memetakan nilai-nilai fuzzy masukan ke nilai-nilai fuzzy keluaran.

c) Basis Data (Data Base)

Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan-himpunan fuzzy dari sinyal masukan dan sinyal keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam basis aturan.

Perancangan basis data meliputi tiga pokok bahasan sebagai berikut:

d) Kuantisasi dan Normalisasi

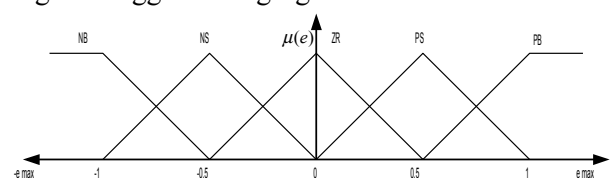
Kuantisasi berarti mendiskritkan semesta pembicaraan yang kontinyu ke dalam sejumlah segmen-segmen tertentu yang disebut level kuantisasi. Normalisasi diperlukan apabila diinginkan semesta pembicaraan yang terbatas pada jangkauan tertentu. Untuk semesta pembicaraan error (e) memiliki jangkauan antara -1 sampai dengan 1 , untuk semesta pembicaraan delta error (de) memiliki jangkauan antara -2 sampai dengan 2 dan untuk semesta pembicaraan sinyal kontrol (du) memiliki jangkauan antara -1 sampai dengan 1 .

e) Pembagian Ruang Masukan dan Keluaran

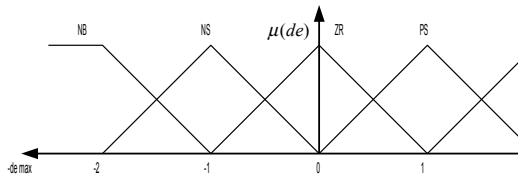
Pendefinisian himpunan fuzzy atas daerah masukan dan keluaran berarti pula membagi-bagi semesta pembicaraan atas nilai-nilai variabel linguistik himpunan fuzzy. Nilai-nilai ini dinyatakan dengan seperangkat istilah *Negative Big (NB)*, *Negative Small (NS)*, *Positive Big (PB)*, *Positive Small (PS)* dan *Zero (ZR)*.

f) Pemilihan Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy dalam daerah masukan dan keluaran terdiri dari fungsi keanggotaan dan semesta pembicaraan untuk himpunan fuzzy. Untuk fungsi keanggotaan dipilih berbentuk segitiga karena memiliki harga batas antar fungsi yang jelas dan perhitungan yang relatif sederhana. Berikut adalah gambar fungsi keanggotaan dari error, delta error dan sinyal kontrol dari perancangan controller logika fuzzy dalam bentuk fungsi keanggotaan segitiga.

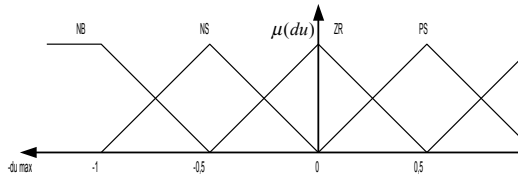


Gambar 10. Fungsi keanggotaan error.



Gambar 11. Fungsi keanggotaan delta error.

Sedangkan fungsi keanggotaan sinyal kontrol adalah sebagai berikut :



Gambar 12. Fungsi keanggotaan sinyal kontrol.

Basis Aturan (*Rule Base*)

Untuk menurunkan rule base digunakan metode pendekatan heuristik yang disusun berdasarkan pengamatan atau perkiraan terhadap respon dinamik sistem dan trayektori bidang fasa, juga berdasarkan latihan dan coba-coba saat melakukan simulasi dan sedikit naluri keteknikan akan ditemukan basis aturan yang lebih sesuai.

Terdapat dua tipe aturan kontrol fuzzy berdasarkan bidang fasa dari respon sistem, yaitu :

- Tipe 1 untuk memperpendek rise time dari sistem dengan formulasi :
IF e is Positive AND de is Negative
THEN du is Positive
- Tipe 2 untuk mereduksi overshoot dari sistem dengan formulasi :
IF e is Negative AND de is Negative
THEN du is Negative

Pada perancangan ini untuk masing-masing pasangan pengendali digunakan 5 variabel error dan 5 variabel delta error, sehingga diperoleh 25 aturan kendali seperti ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Matriks Unjuk Kerja Pengendali

$\begin{matrix} de \\ e \end{matrix}$	NB	NS	ZR	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZR
NS	NB	NB	NS	ZR	PS
ZR	NB	NS	ZR	PS	PB
PS	NS	ZR	PS	PB	PB
PB	ZR	PS	PB	PB	PB

Sedangkan fungsi keanggotaan dari kesimpulan yang merupakan aksi pengendali fuzzy adalah gabungan (max) dari setiap kesimpulan pada aturan tersebut, sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \mu_u(w) &= \mu_{c_{1,1}}(w) \vee \mu_{c_{1,2}}(w) \vee \mu_{c_{1,3}}(w) \vee \dots \\ \mu_{c_{5,5}}(w) &= [\mu_{NB}(Qe) \wedge \mu_{NB}(Qde)] \wedge \mu_{NB}(w) \vee [\mu_{NB}(Qe) \wedge \mu_{NS}(Qde)] \\ &\quad \wedge \mu_{NB}(w) \vee [\mu_{NB}(Qe) \wedge \mu_{ZR}(Qde)] \wedge \mu_{NB}(w) \vee \dots \vee [\mu_{PB}(Qe) \\ &\quad \wedge \mu_{PB}(Qde)] \wedge \mu_{PB}(w) \end{aligned}$$

Strategi Defuzzifikasi

Proses perancangan diakhiri dengan strategi defuzzifikasi yakni mengkonversikan data fuzzy berupa sinyal output pengendali fuzzy, menjadi data crisp kembali. Pada perancangan ini metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode Centre Of Area (COA), yang dinyatakan sebagai berikut :

$$du[k] = \frac{\sum_{j=1}^5 \mu_{ci}(w_i) \cdot W_i}{\sum_{j=1}^5 \mu_{ci}(w_i)} \dots (3.27)$$

Dimana :

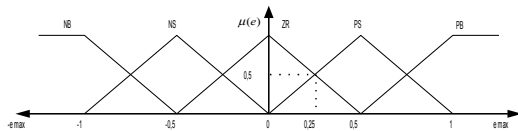
$du[k]$ = keluaran sinyal kendali data crisp

$\mu_{ci}(w_i)$ = keluaran dari fungsi keanggotaan aksi pengendali

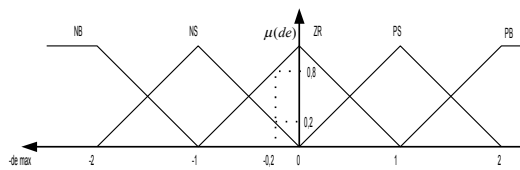
W_i = nilai tengah variabel linguistik bentuk segitiga aksi pengendali

6. Urutan Perhitungan Kontroller Logika Fuzzy

Jika dimisalkan masukan error adalah 0.25 dan delta error adalah -0.2 , dengan gain error adalah 0,0001 dan gain delta error adalah 0,016 maka error terkuantisasi adalah 0,000025 dan delta error adalah $-0,032$. Dengan menggunakan fungsi distribusi keanggotaan dari error dan delta error, akan diperoleh derajat keanggotaan error dan delta error sebagai berikut :



Gambar 12. Fungsi keanggotaan error (Hasil Perhitungan)



Gambar 13. Fungsi keanggotaan delta error (Hasil Perhitungan)

Tabel 2. Derajat keanggotaan error dan delta error laju aliran.

	NB	NS	ZR	PS
($e=0.25$)	0	0	0,99995	0,00005
($de=-0.2$)	0	0,032	0,968	0

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa $\mu(e=0.25)$ termasuk dalam fungsi keanggotaan ZR dan PS sedangkan $\mu(de=-0.2)$ termasuk dalam fungsi keanggotaan NS dan ZR. Kemudian digunakan mekanisme inferensi dengan metode minimum Mamdani untuk menghitung sinyal kendali seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Nilai Inferensi (Hasil Perhitungan)

$\frac{de}{e}$	NB	NS	ZR	PS	PB
NB	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0	0
ZR	0	0,032	0,968	0	0
PS	0	0,00005	0,00005	0	0
PB	0	0	0	0	0

Jika dibandingkan rule base hasil perancangan sebagai berikut:

Tabel 4. Matriks Rule Base Perancangan

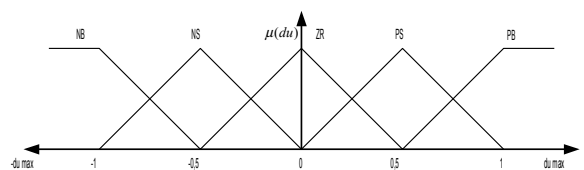
$\frac{de}{e}$	NB	NS	ZR	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZR
NS	NB	NB	NS	ZR	PS
ZR	NB	NS	ZR	PS	PB
PS	NS	ZR	PS	PB	PB
PB	ZR	PS	PB	PB	PB

Maka diperoleh fungsi keanggotaan untuk sinyal kontrol, yaitu :

Tabel 5. Fungsi Keanggotaan Sinyal Kontrol

NB	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0	0,032
ZR	0	0	0	0,00005	0,968
PS	0	0	0	0	0,00005
PB	0	0	0	0	0

Melalui proses defuzzifikasi yaitu mengubah besaran linguistik fuzzy menjadi data crisp diperoleh fungsi distribusi untuk sinyal kontrol sebagai berikut:

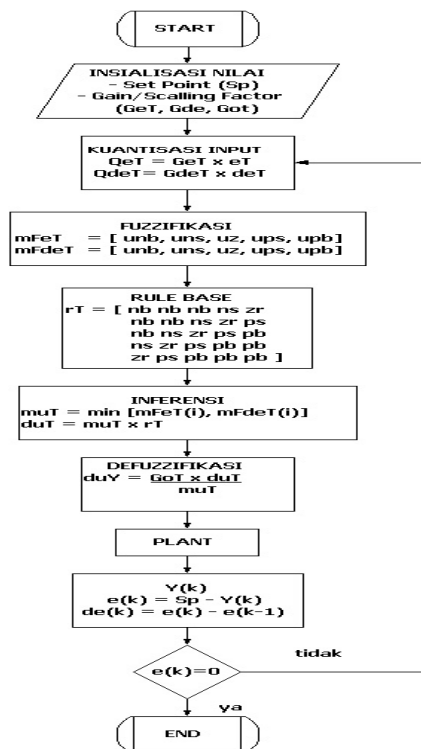


Gambar 14. Fungsi Keanggotaan Sinyal Kontrol (perhitungan)

Dengan menggunakan metode Center of Area (COA) diperoleh perubahan sinyal kontrol sebesar:

$$du = \frac{0,032(-0,5) + 0,00005(0) + 0,968(0) + 0,00005(0)}{0,032 + 0,00005 + 0,968 + 0,00005}$$

Besarnya gain untuk sinyal output sebesar 1 maka sinyal kontrolnya adalah $-0,01597$.



Gambar 15. Flowchart Pemrograman Perancangan Fuzzy

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi

Simulasi dilakukan untuk dapat mengetahui sejauh mana performansi sistem pengendalian logika fuzzy yang dirancang dalam mengatasi permasalahan yang ada di lapangan dibandingkan dengan sistem pengendalian PID yang sudah ada. Data yang diperoleh dari hasil simulasi antara lain meliputi data numerik dari settling

time, maksimum overshoot, kesalahan keadaan tunak (error steady state).

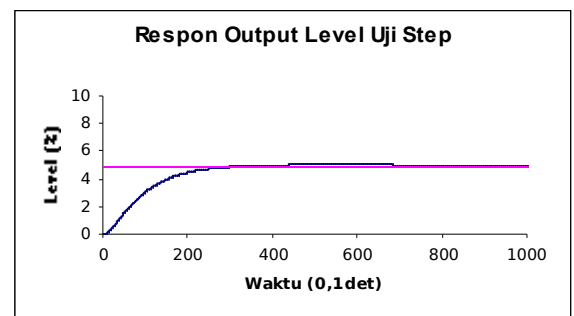
Simulasi sistem pengendalian ini dilaksanakan pada *software Matlab R2008b* dengan menampilkan respon keluaran dari plant yang telah dimodelkan. Model matematis sistem pada unit kompresi gas *synthesa* ditransformasikan dalam bentuk diskrit dengan besarnya waktu pencuplikan data adalah 0,1 detik.

Sistem pengendalian logika fuzzy diuji dengan beberapa pengujian untuk mengetahui sejauh mana performansi sistem dalam mengatasi permasalahan yang ada. Pengujian itu meliputi uji respon step, uji tracking setpoint, uji perubahan beban, uji noise pengukuran dan uji gabungan. Sistem pengendalian pembanding adalah sistem pengendalian PID yang ada di plant.

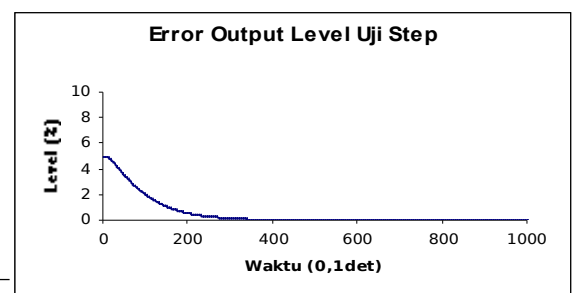
Pengendalian Level

Uji Respon Step

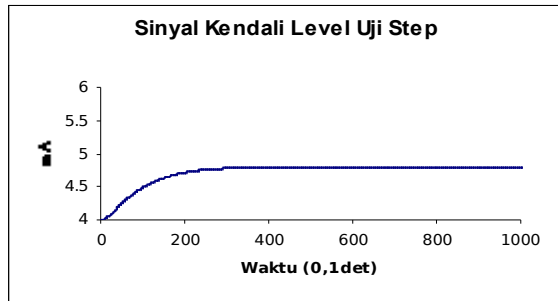
Pada simulasi ini sistem diberikan masukan step (tangga satuan) dengan setpoint temperatur sebesar 5% (besar setpoint ini adalah kondisi operasi normal sistem yang diinginkan) dengan jumlah iterasi sebanyak 1000 kali atau 100 detik (time sampling 0,1 detik). Kondisi sistem ideal dalam arti tidak mengalami perubahan level pada laju aliran yang masuk ke unit kompresi gas *synthesa*. Maka sistem pengendalian yang dirancang memiliki performansi seperti terlihat pada gambar 16.



Gambar 16. Respon output level uji step



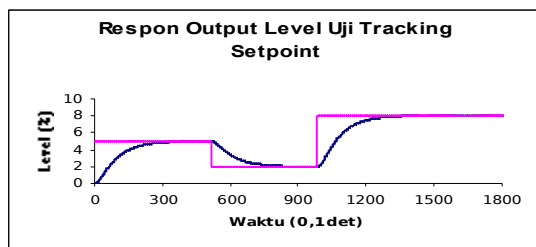
Gambar 17. Error output level uji step



Gambar 18. Sinyal kendali level uji step

Uji Tracking Setpoint

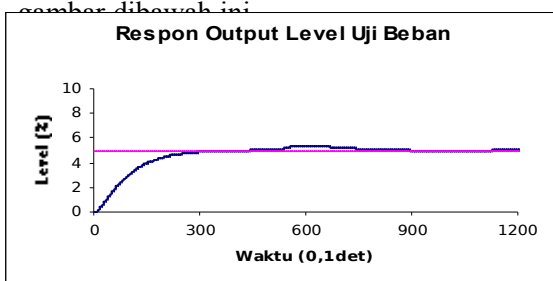
Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan pengendali dalam mengatasi kondisi pada saat diberikan gangguan internal berupa perubahan setpoint. Simulasi dilakukan dengan memberikan penurunan dan kenaikan setpoint menjadi 2% dan 8% dan hasil pengujiannya seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 19. Respon output level uji tracking setpoint

Uji Beban

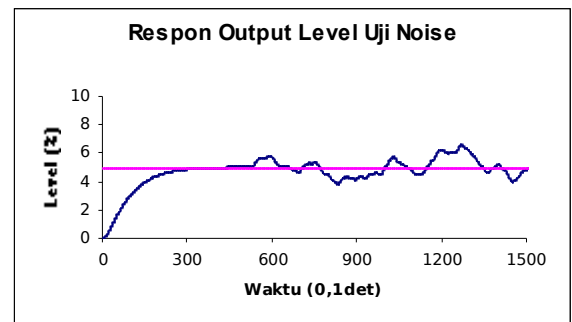
Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengendali dapat mengatasi kondisi, dengan adanya perubahan beban berupa laju aliran yang masuk ke dalam syn gas kompresor suction drum. Simulasi dilakukan dengan memasukkan perubahan beban sebesar 20% pada laju aliran yang masuk ke dalam unit kompresi gas synthesa pada saat proses berlangsung dan hasil pengujiannya seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 20. Respon output level uji beban

Uji Noise

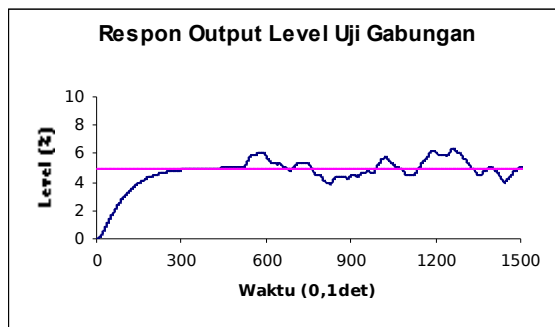
Uji noise dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontroler terhadap kesalahan pengukuran yang terjadi pada alat ukur yaitu transmitter. Gangguan yang tidak diketahui ini berupa sinyal error pengukuran dari transmitter. Apabila terjadi noise pada sensor maka akan menimbulkan ketidakstabilan sistem apabila kontroller tidak dapat mengatasinya. Dalam uji noise ini bertujuan untuk memperlihatkan kontroler mengatasi masalah gangguan yang tidak diketahui. Noise diberikan pada sistem yang stabil yang berupa bilangan random $\text{noise} = \text{randn}(\text{size}(k)) * 0,01$. Hasil simulasi ditunjukkan seperti gambar 21.



Gambar 21. Respon output level uji noise

Uji Gabungan

Pada uji gabungan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan kontroler dalam mengatasi adanya gangguan yang diantaranya yaitu beban dan noise pengukuran. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

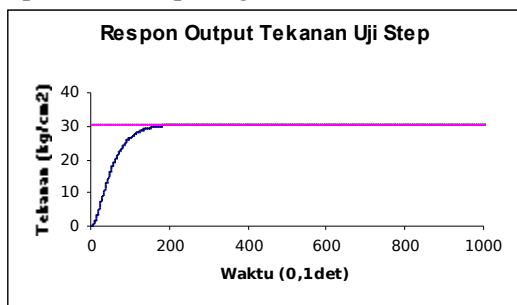


Gambar 22. Respon output level uji gabungan

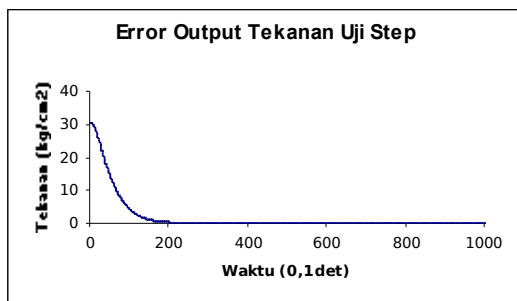
Pengendalian Tekanan

▪ Uji Respon Step

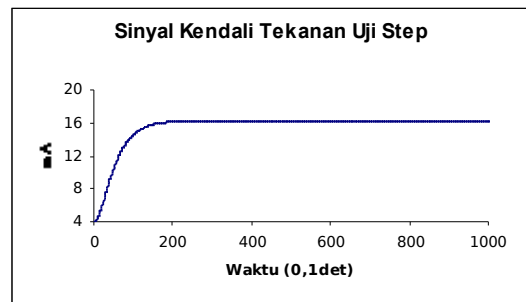
Pada simulasi ini sistem diberikan masukan step (tangga satuan) dengan setpoint tekanan sebesar $30,6 \text{ kg/cm}^2$ (besar setpoint ini adalah kondisi operasi normal sistem yang diinginkan) dengan jumlah iterasi sebanyak 1000 kali atau 100 detik (time sampling 0,1 detik). Kondisi sistem ideal dalam arti tidak mengalami perubahan level pada laju aliran yang masuk ke unit kompresi gas synthesa. Maka sistem pengendalian yang dirancang memiliki performansi seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 23. Respon output tekanan uji step



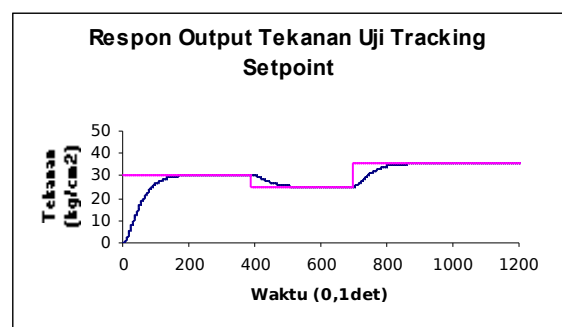
Gambar 24. Error output tekanan uji step



Gambar 25. Sinyal kendali tekanan uji step

▪ Uji Tracking Setpoint

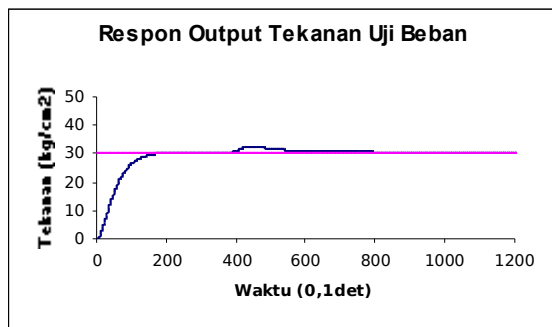
Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan pengendali dalam mengatasi kondisi pada saat diberikan gangguan internal berupa perubahan setpoint. Simulasi dilakukan dengan memberikan penurunan dan kenaikan setpoint menjadi 25 kg/cm^2 dan 35.5 kg/cm^2 dan hasil pengujiannya seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 26. Respon output tekanan uji tracking setpoint

▪ Uji Beban

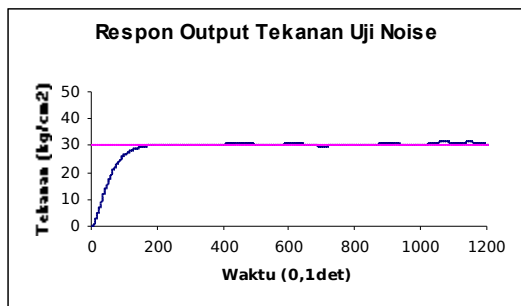
Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengendali tekanan dapat mengatasi kondisi, dengan adanya perubahan beban berupa laju aliran yang masuk ke dalam unit kompresi gas synthesa. Simulasi dilakukan dengan memasukkan perubahan beban sebesar 20% pada laju aliran yang masuk ke dalam unit kompresi gas synthesa pada saat proses berlangsung dan hasil pengujiannya seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 27. Respon output tekanan uji beban

▪ Uji Noise

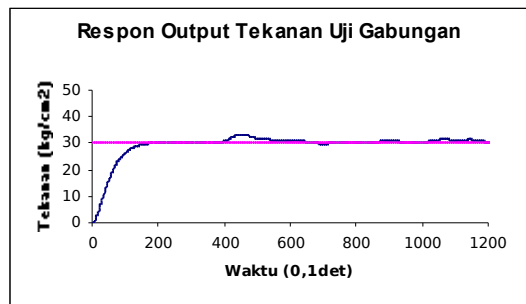
Uji noise dilakukan untuk mengetahui kemampuan kontroler terhadap kesalahan pengukuran yang terjadi pada alat ukur yaitu transmitter. Dalam uji noise ini bertujuan untuk memperlihatkan kontroler mengatasi masalah gangguan yang tidak diketahui. Noise diberikan pada sistem yang stabil yang berupa bilangan random $\text{noise} = \text{randn}(\text{size}(k)) * 0,01$. Hasil simulasi ditunjukkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 28. Respon output tekanan uji noise

▪ Uji Gabungan

Pada uji gabungan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan kontroler dalam mengatasi adanya gangguan yang diantaranya yaitu beban dan noise pengukuran. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 29. Respon output tekanan uji gabungan

Analisa Hasil Perancangan

Dari hasil simulasi pertama untuk pengujian respon step tanpa adanya perubahan beban dari laju aliran yang masuk ke unit kompresi gas synthesa. untuk pengendalian level, sistem dapat mencapai setpoint dalam waktu 42,6 detik dengan maksimum overshoot sebesar $8,65 \cdot 10^{-3} \%$ dan kesalahan keadaan tunak yang berharga $2,67 \cdot 10^{-3} \%$, sedangkan untuk pengendalian tekanan Settling time sebesar 26,3 detik, maksimum overshootnya sebesar $6,851 \cdot 10^{-3}$ dengan error steady state $6,85 \cdot 10^{-3}$.

Pada simulasi kedua dilakukan perubahan harga setpoint menjadi 2 % dan 8 % untuk level sedangkan untuk tekanan perubahan harga setpoint menjadi 25 kg/cm² dan 35.5 kg/cm². Untuk pengendalian level Settling time setpoint pertama dicapai pada iterasi ke 426 atau sebesar 42,6 detik dengan error steady state $2,67 \cdot 10^{-3}$ dan maksimum overshootnya sebesar $8,65 \cdot 10^{-3}$. Untuk setpoint yang kedua settling time dicapai pada iterasi ke 897 atau sebesar 47,1 detik dengan error steady state $8,66 \cdot 10^{-3} \%$ dan maksimum overshootnya $8,65 \cdot 10^{-3} \%$. Untuk setpoint yang ketiga settling time dicapai pada iterasi ke 1419 atau sebesar 52,2 detik dengan error steady state 9,154 % dengan maksimum overshoot sebesar $9,05 \cdot 10^{-3} \%$ sedangkan untuk pengendalian tekanan Settling time setpoint pertama dicapai pada iterasi ke 263 atau sebesar 26,3 detik dengan error steady state $6,85 \cdot 10^{-3}$ dan maksimum overshootnya sebesar $6,851 \cdot 10^{-3}$. Untuk setpoint yang kedua

setling time dicapai pada iterasi ke 581 atau sebesar 31,8 detik dengan error steady state $8,052.10^{-3}$ dan maksimum overshootnya $9,557.10^{-3}$. Untuk setpoint yang ketiga setling time dicapai pada iterasi ke 914 atau sebesar 33,3 detik dengan error steady state $8,052.10^{-3}$ dengan maksimum overshoot sebesar $8,148.10^{-3}$.

Pada simulasi ketiga yaitu uji beban dilakukan dengan menambah laju aliran yang masuk ke dalam unit kompresi gas synthesa sebesar 20% dari harga normal. Hasil yang didapatkan membuktikan bahwa respon level mampu mencapai setpoint yang diberikan yaitu 5%, kemudian pada iterasi ke 516 sistem diberi beban, menyebabkan respon berubah fluktuasi, dan dalam waktu 36 detik, yaitu iterasi ke 876 respon kembali lagi ke setpoint dengan error steady statenya $5,67.10^{-3} \%$. Untuk tekanan, pada iterasi ke 389 sistem diberi beban, menyebabkan respon berubah fluktuasi, dan dalam waktu 37,5 detik, yaitu iterasi ke 764 respon kembali lagi ke setpoint dengan error steady state $3,53.10^{-3}$ atau $8,825.10^3 \%$. Hal ini membuktikan bahwa kontroler mampu mengatasi gangguan.

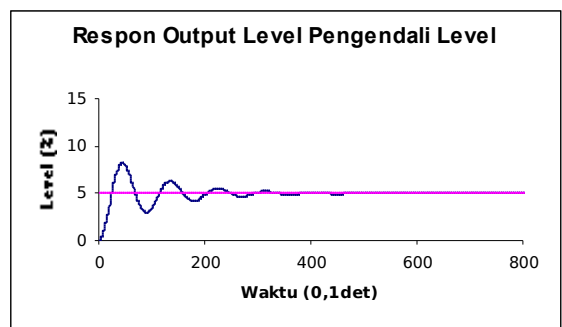
Untuk simulasi keempat sistem diberi noise. Untuk pengendalian level pada iterasi ke 519, sistem yang stabil tersebut diberi noise. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu bertahan dan memberikan respon yang tetap berada dalam kestabilan yang diijinkan walaupun uji noise pada output plant menyebabkan terjadinya osilasi dengan error terbesar $9,77.10^{-1}\%$. Sedangkan untuk pengendalian tekanan, pada iterasi ke 396 tersebut sistem diberi noise dan hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu bertahan dan memberikan respon yang tetap berada dalam kestabilan yang diijinkan walaupun uji noise pada output plant menyebabkan terjadinya osilasi dengan error antara $4,01.10^{-5}$ sampai $1,17.10^{-1}$.

Simulasi kelima merupakan pengujian gabungan berupa penambahan beban untuk level dari laju aliran yang

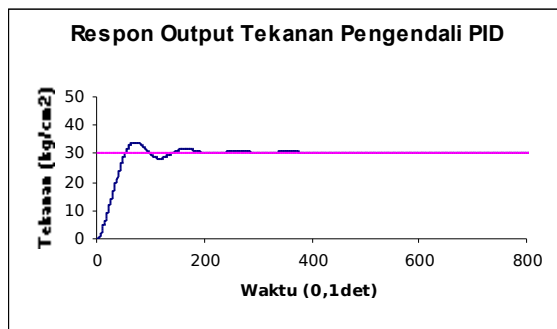
masuk ke dalam suction drum syn gas kompresor dan pemberian noise pengukuran. Untuk pengendalian level pada iterasi ke 519, sistem yang stabil tersebut diberi penambahan beban 20% dari harga normalnya dan noise. Respon berubah fluktuasi, dan dalam waktu 47 detik, yaitu iterasi ke 989 respon kembali lagi ke setpoint dengan disertai adanya sedikit osilasi karena pemberian noise. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem masih mampu memberikan respon yang masih dalam kestabilan yang diijinkan dengan error steady terbesar $8,33.10^{-1} \%$. Untuk pengendalian tekanan, pada iterasi ke 395 sistem diberi beban dan noise. Respon berubah fluktuasi, dan dalam waktu 24,8 detik, yaitu iterasi ke 643 respon kembali lagi ke setpoint dengan disertai adanya sedikit osilasi karena pemberian noise dengan error steady state terbesar $9,24.10^{-1} \%$.

Pembanding

Sistem pengendalian yang digunakan sebagai pembanding adalah sistem pengendalian PID yang digunakan pada plant. Simulasi untuk respon step pada sistem pengendalian PID terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 30. Respon Output Level PID



Gambar 31. Respon Output Tekanan PID

Hasil perbandingan dari kedua sistem dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini :

Tabel 5. Perbandingan Karakteristik Sistem Pengendalian Level

Report Performansi	Pengendali Logika Fuzzy	Pengendali PID
Waktu Penetapan (detik)	42,6	67,9
Maksimum Overshoot (%)	$8,65 \cdot 10^{-3}$	3,157
Kesalahan Keadaan Tunak (%)	$2,67 \cdot 10^{-3}$	1,33.10

Tabel 6. Perbandingan Karakteristik Sistem Pengendalian Tekanan

Report Performansi	Pengendali Logika Fuzzy	Pengendali PID
Waktu Penetapan (detik)	26,3	37,2
Maksimum Overshoot (kg/cm ²)	$6,851 \cdot 10^{-3}$	3,459
Kesalahan Keadaan Tunak (kg/cm ²)	$3,64 \cdot 10^{-3}$	1,26.10

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Kontroler Logika Fuzzy yang dirancang pada sistem pengendalian ini memiliki 25 rule base dengan fungsi keanggotaan segitiga yang mempunyai rentang kerja fuzzifikasi error adalah [-1,1] dan rentang delta error adalah [-2,2], dengan harga:
 - Untuk pengendalian level, $G_e = 0,0001$, $G_{de} = 0,016$, dan $G_{du} = 1$

- Untuk pengendalian tekanan, $G_e = 0,0002$, $G_{de} = 0,035$ dan $G_{du} = 1$
- Hasil uji respon step tanpa adanya perubahan beban, yaitu :
 - Untuk pengendalian level, sistem dapat mencapai setpoint dalam waktu 42,6 detik dengan maksimum overshoot $8,65 \cdot 10^{-3} \%$ dan kesalahan keadaan tunak $2,67 \cdot 10^{-3} \%$.
 - Untuk pengendalian tekanan, sistem dapat mencapai setpoint dalam waktu 26,3 detik dengan maksimum overshoot $6,851 \cdot 10^{-3} \%$ dan kesalahan keadaan tunak $3,64 \cdot 10^{-3} \%$.
 - Hasil uji perubahan setpoint, didapatkan :
 - Untuk pengendalian level, setpoint diubah menjadi 2 % dan 8 %, setling time yang dihasilkan 47,1 detik, error steady statenya $8,66 \cdot 10^{-3}$, dan maksimum overshootnya $8,65 \cdot 10^{-3}$. Untuk setpoint 8% setling time dicapai dalam waktu 52,2 detik dengan error steady state 9,154% dengan maksimum overshoot sebesar $9,05 \cdot 10^{-3} \%$.
 - Untuk pengendalian tekanan, setpoint diubah menjadi 25 kg/cm² dan 35,5 kg/cm², setling timenya 31,8 detik, error steady statenya $8,052 \cdot 10^{-3}$ atau 2,013 %, dan maksimum overshootnya $9,557 \cdot 10^{-3}$ kg/cm² atau $2,389 \cdot 10^{-2} \%$. Untuk setpoint 35,5 kg/cm² setling time dicapai dalam waktu 33,3 detik dengan error steady state $8,052 \cdot 10^{-3}$ kg/cm² atau 2,013.10⁻² % dengan maksimum overshoot sebesar $8,148 \cdot 10^{-3}$ kg/cm² atau $2,037 \cdot 10^{-2} \%$.
 - Performansi sistem hasil uji beban untuk pengendalian level dan tekanan memiliki respon yang baik, dengan error steady state untuk pengendalian level sebesar $5,67 \cdot 10^{-2} \%$,

- pengendalian tekanan sebesar $3,53 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$ atau $8,825 \cdot 10^{-3} \%$.
5. Pada pengujian noise pengukuran yang diberikan berupa noise pengukuran, ternyata sistem mampu mengatasi berbagai keadaan dan dapat mencapai setpoint kembali, hal ini ditunjukkan oleh respon transien, persentase error yang masih dalam batas toleransi 2%.
 6. Pada pengujian gabungan berupa penambahan laju aliran yang masuk ke dalam unit kompresi gas synthesis dan pemberian noise pengukuran ternyata sistem, untuk pengendalian level dapat mencapai setpoint dengan settling time 47 detik dan error terbesar $8,33 \cdot 10^{-3} \%$ sedangkan untuk pengendalian tekanan settling timenya sebesar 24,8 detik dan error terbesar $9,24 \cdot 10^{-1} \%$.
 7. Dari hasil uji step sistem perancangan dibandingkan dengan Pengendali PID didapatkan bahwa Kontroler Logika Fuzzy yang dirancang memiliki performansi yang lebih baik dari Pengendali PID.

Untuk penelitian lebih lanjut, agar diperoleh hasil yang lebih mendekati plant secara riil, maka perlu dilakukan suatu analisis yang lebih mendalam dengan cara Meminimalkan asumsi-asumsi yang dipakai pada perancangan ini sehingga plant yang diteliti lebih riil.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Gunterus, F. 2004, "*Falsafah Dasar sistem Pengendalian Proses*", Elex Media Komputindo, Jakarta.
- J. Yan, M. Ryan, J. Power. 2002, "*Using Fuzzy Logic*", Prentice Hall, New York.
-, "*Technical Data Book*", MTD Ammonia Unit, PT. Petrokimia Gresik, Gresik, 1991.

- Willis, M. J. 2001, "*Multivariable Control An Introduction*" Newcastle : Dept. of Chemical and Process Engineering University, Nov.
- Dixon, S.L. 2000, "*Mekanika Fluida, Termodinamika Mesin Turbo*", Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Harriot, Peter. 2010, "*Process Control*", Mc Graw Hill Company Inc.
- Luyben, William L. 2006, "*Process Modeling, Simulation And Control For Chemical Engineers*", Second edition, McGraw-Hill International Edition.
- Marza'i, Salim. 1999, "*Perancangan Sistem Pengendalian Level Pada Unit Liquid Separator Menggunakan Metode Logika Fuzzy*", Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika ITS, Surabaya.
- Ogata, K. dan E. Leksono. 1985, "*Teknik Kontrol Automatik*" Jilid 1 Bandung: Erlangga.
- Shlyakhin, P. 2011, "*Turbin Uap: Teori dan Perancangan*", Erlangga, Jakarta.
- Stephanopoulos, George. 2008, "*Chemical Process Control An Introduction to Teory and Practice*", Prentice-Hall International Inc, Singapore.
- Wang, Li-Xin, "*A Course in Fuzzy System and Control*", Prentice Hall, 1997.