

PENGENDALIAN SUHU PENCAMPURAN AIR BERBASIS *INDUSTRIAL ROBUSTNESS-RTU* DENGAN SISTEM KENDALI TERDISTRIBUSI

Nugroho Widi Santoso¹, Paula Santi Rudati¹, Feriyonika¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
nugroho.widi.tec414@polban.ac.id, psrudati@polban.ac.id, feriyonika@gmail.com

ABSTRAK

Proses otomatisasi pengendalian jarak jauh masih menjadi permasalahan karena pengendalian suatu proses dari jarak yang jauh yang hanya menggunakan satu buah *controller* saja membuat beban kendali pusat menjadi besar. Oleh karena itu perlu adanya pendistribusian *control* atau yang lebih dikenal dengan *Distributed Control System* (DCS). Pada *paper* ini, pengaplikasian DCS digunakan untuk mengendalikan suhu pencampuran air. Sistem DCS ini terdiri dari satu buah *Master Control Unit* yang terdiri dari FCN-RTU Stardom Yokogawa yang dilengkapi dengan HMI yang berfungsi sebagai mengendalikan suhu pada tanki pencampuran agar sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan, dan 4 buah *Local Control Unit*, yaitu LCU 1 *plant* pengatur *flow* air panas, LCU 2 *plant* pengatur *flow* air dingin, LCU 3 *plant* pengatur *flow* out, dan LCU 4 *plant* pengendali suhu pada tanki panas. Untuk mendapatkan parameter pengendali dari setiap LCU yang menggunakan kendali PID maka digunakan metode Ziegler Nichols 1 dan 2, dan hasil parameter pengendali yang didapat LCU 1 adalah $K_p=5$, $T_i=10$ dan $T_d=0,39$, untuk LCU 2 adalah $K_p=2$, $T_i=10$, dan $T_d=0,46$, pada LCU 3 yaitu $K_p=8$, $T_i=6$, dan $T_d=0,6$. dan pada LCU 4 adalah $K_p=3$, $T_i=70$ dan $T_d=20$. Hasil dari integrasi sistem secara keseluruhan didapatkan respon global dengan nilai *settling time* sebesar 19.2s, *overshoot* sebesar 0% dan *rise time* sebesar 45.3s. Metode ini dapat diaplikasikan pada sistem kendali yang luas dan besar seperti pada sistem kendali di dunia industri minuman maupun manufaktur.

Kata Kunci

DCS, PID, kendali proses, pencampuran air

1. PENDAHULUAN

Distributed control system adalah suatu perangkat sistem yang berfungsi mendistribusikan berbagai fungsi yang digunakan untuk mengendalikan berbagai *variable* proses dan unit operasi proses menjadi suatu pengendalian yang terpusat pada suatu *control room* dengan berbagai fungsi pengendalian, *monitoring* dan optimasi. DCS adalah sebuah sistem kontrol yang biasanya digunakan pada sistem manufaktur atau proses, dimana elemen *controller* tidak terpusat pada *central system* (sistem pusat), tetapi tersebar di sistem dengan komponen sub sistem di bawah kendali satu atau lebih perangkat kontrol[1].

Teknologi kendali yang terintegrasi di dunia industri sering dibutuhkan khususnya industri minuman yang harus memperhatikan beberapa parameter yang mempengaruhi hasil dari pencampuran tersebut, salah satunya adalah suhu dalam mencampurkan bahan baku cair[2]. Pengendalian suhu pencampuran bahan baku cair ini memerlukan waktu yang cukup lama apabila dibandingkan dengan pengendalian parameter proses lainnya, dengan menggunakan sistem kendali terdistribusi pengendalian suhu pencampuran air dapat

menjadi lebih cepat dan tepat, karena sistem ini menggunakan lebih dari satu aktuator yang terintegrasi.

Tujuan penelitian pada *paper* ini adalah dapat mengendalikan suhu menggunakan sistem kendali terdistribusi. Melalui penggunaan pengontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID), sistem kontrol otomatis memungkinkan proses produksi yang kompleks untuk dioperasikan dengan cara yang aman dan menguntungkan. Kontrol PID ini secara terus mengukur parameter operasi proses seperti suhu, tekanan, level, aliran, dan konsentrasi, dan kemudian dengan membuat keputusan untuk membuka atau menutup katup, memperlambat atau mempercepat pompa, atau menambah atau mengurangi panas sehingga dipilih pengukuran proses dipertahankan pada nilai yang diinginkan[3-5]. Oleh karena itu, pengendali PID juga sering digunakan sebagai kendali di setiap masing-masing sub sistem.

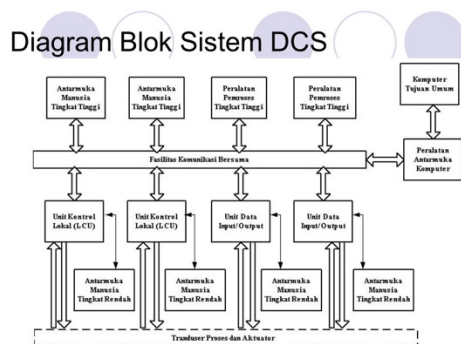
Dalam *paper* ini, *Distributed Control System* diterapkan dalam kontrol suhu pencampuran air dengan mengkoordinasikan 4 parameter kendali PID. Dalam sistem ini, tingkat suhu global dipengaruhi oleh banyaknya campuran air panas yang

dikendalikan oleh besaran *flow meter* 1 yang dibuka dan banyaknya air dingin yang dikendalikan oleh besaran *flow meter* 2. Sub sistem controller dirancang dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols 2 dan pengaturan untuk *tuning* respon. Untuk mengkoordinasikannya besaran nilai hasil dari perhitungan nilai eror dan nilai *set-point* digunakan untuk menentukan *set point* pada sestiap sub sistemnya.

2. DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

2.1 Penjelasan Umum

Distributed Control System (DCS) merupakan perangkat sistem yang berfungsi mendistribusikan berbagai fungsi yang digunakan untuk mengendalikan berbagai variable proses dan unit operasi proses menjadi suatu pengendalian yang terpusat pada suatu *control room* dengan berbagai fungsi pengendalian, monitoring dan optimasi. DCS adalah sebuah sistem kontrol yang biasanya digunakan pada sistem *manufacture* atau proses, dimana elemen *controller* tidak terpusat pada *central system* (sistem pusat), tetapi tersebar di sistem dengan komponen sub sistem di bawah kendali satu atau lebih perangkat kontrol. Keseluruhan sistem tersebut bisa dikelompokkan menjadi sebuah jaringan untuk monitoring dan komunikasi.



Gambar 1. Diagram Blok DCS [3]

Selain itu, bagian dari process *plants* dan bagian dari elemen jaringan DCS terhubung satu sama lain melalui data *highway* (*fieldbus*). Salah satu metode DCS ialah *Coordinated Multi Loop Control System* dimana masing-masing *Loop Control* dibuat menjadi terpadu.

2.2 Master Control Unit

Master Control Unit atau bisa disebut juga *Central Processor Unit* adalah suatu perangkat penyusun yang memiliki proses kerja seperti kalkulator, dimana *CPU* berfungsi melakukan proses aritmatika dan logika terhadap data yang diambil dari memori atau masukan data dari *hardware*[3]. Pada sistem ini, *Master Control Unit* menggunakan *Logic Designer Software* yang merupakan *software* FCN-RTU Stardom Yokogawa yang berfungsi untuk mengolah data input dan menentukan tindakan yang diambil berupa pemberian nilai *set point* terhadap masing-masing sub sistem agar suhu pada tanki pencampuran dapat sesuai dengan nilai *set point* global yang diatur oleh operator. Bahasa pemrograman pada MCU ini menggunakan *Function Block* yang disesuaikan dengan komunikasi *Modbus Ethernet Protocol*.

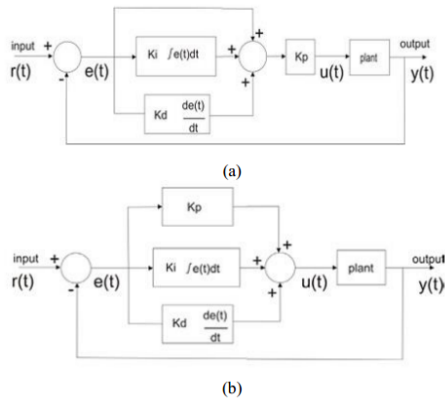
2.3 Local Control Unit

Local Control Unit berfungsi sebagai perubah besaran nilai dari MCU menjadi besaran yang dapat digunakan menjadi input untuk *plant*. *Plants* suhu ini terbagi menjadi 4 buah *plant*. *Plant* Tanki 1 yang berfungsi sebagai tanki penyimpanan air panas dengan heater sebagai aktuaternya, *plant* 2 yaitu *flow meter* air panas yang berfungsi untuk mengatur debit air panas yang akan dikeluarkan, kemudian *plant* 3 yaitu *flow meter* air dingin yang akan mengendalikan berapa banyak debit air dingin yang akan diberikan, dan *plant* 4 yaitu *plant flow out* yaitu *plant* yang mengendalikan besaran *motorized valve* yang akan dibuka pada pembuangan di tanki pencampuran (tanki 2) guna mendapatkan waktu pencampuran yang maksimal.

2.4 Kendali PID dan Desain Kendali dengan metode Ziegler-Nichols

2.4.1 Kendali PID

Penggunaan kendali PID sebagai kendali proses di industri mencapai 90%. Alasannya adalah karena kesederhanaannya dan memiliki performa yang bagus. Ada dua macam konfigurasi kendali PID, yakni ideal dan paralel seperti tampak pada Gambar 2. Konfigurasi PID Seri (a) dan Paralel (b) [3]



Gambar 2. Konfigurasi PID Seri(a) dan Paralel(b)[3]

Kendali PID merupakan gabungan kendali Proportional, Integral dan Derivative. Persamaan (1) kendali PID adalah sebagai berikut

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \dots \dots (1)$$

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengendali P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengendali *proposional plus integral plus derivative* (pengendali PID). Elemen-elemen pengendali P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi

sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Salah satu cara untuk menentukan parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols 2. Setelah mendapatkan nilai parameter PID, diperlukan *tuning* parameter PID guna mendapatkan respon kendali yang diinginkan. Tabel 1 menunjukkan petunjuk penagaturan pengendali parameter PID [6]

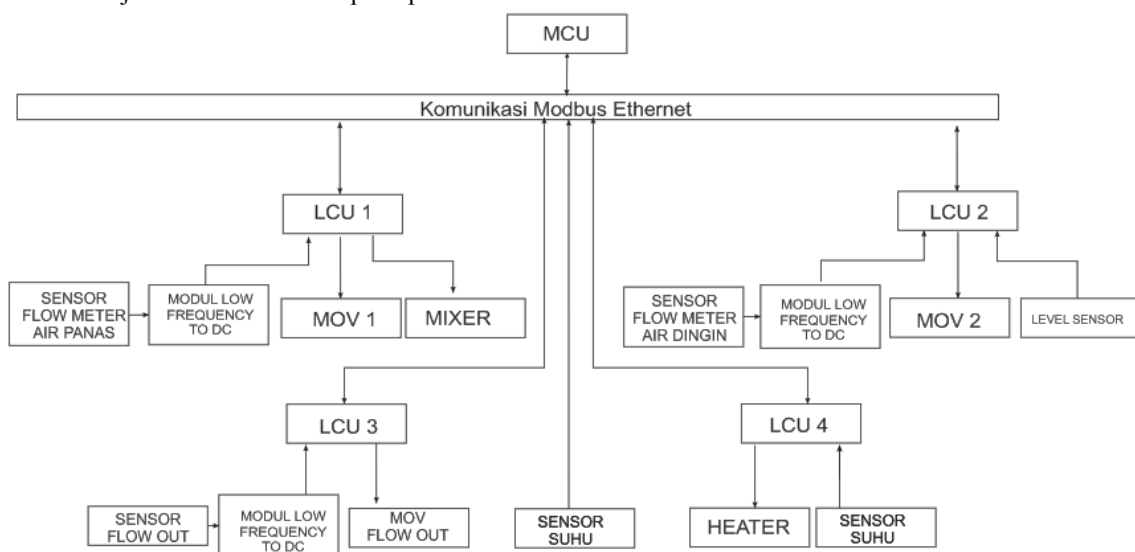
Tabel 1. Tuning PID

Parameters	Risetime	Overshoot	Settling time	Steady-State Error
K _p	Decrease	Increase	Minor Change	Decrease
K _i	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
K _d	Minor Change	Decrease	Decrease	Minor Change

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Blok Diagram Sistem

Tujuan blok diagram sistem adalah sebagai acuan dalam merancang sistem dan merancang kendali PID pada pengendalian suhu pencampuran air agar sesuai dengan rancangan, gambar 3 menunjukkan blok diagram sistem.

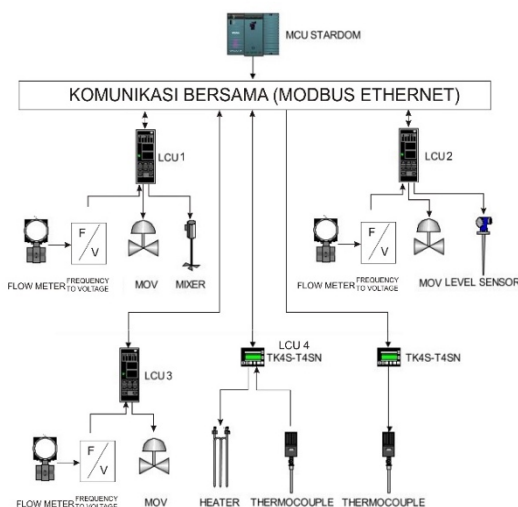


Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Blok diagram ini terdiri dari MCU, LCU dan masing masing *plant*. Penjelasan blok sistem pada gambar3 adalah sebagai berikut :

1. MCU atau *Master Control Unit* merupakan terminal utama yang berfungsi sebagai pusat *control* menggunakan perantara *Human Machine Interface* yang terhubung pada LCU, MCU yang digunakan adalah Logic Designer pada FCN-RTU Stardom Yokogawa.
2. LCU atau *Local Control Unit* berfungsi sebagai perubah besaran nilai dari RTU menjadi besaran yang dapat digunakan menjadi input untuk *plant*. *Plant* suhu ini terbagi menjadi 4 buah *plant*.
3. LCU 1 merupakan *plant* yang mengendalikan *flow* meter air panas yaitu pengendalian besarnya debit air panas yang akan dikeluarkan dengan motorized operated valved sebagai aktuaternya.
4. LCU 2 merupakan *plant* pengendalian *flow* meter air dingin yang mengendalikan berapa banyak debit air dingin yang akan diberikan.
5. LCU 3 merupakan *plant* pengendalian *flow* out yang mengendalikan berapa besar debit yang akan dibuang dari tanki utama
6. LCU 4 terdapat *plant* pengendali suhu tanki panas dengan menggunakan *Temperature controller* Autonics TK4S-T4SN dengan heater sebagai aktuaternya.
7. Kemudian terdapat *Temperature controller* Autonics TK4S-T4SN yang berfungsi sebagai *feedback* global dengan membaca suhu pada *plant* tanki utama atau tanki pencampuran.

Pada gambar 4 merupakan blok sistem DCS dari alat yang dibangun.



Gambar 4. Blok Diagram DCS

3.2 Perancangan MCU

$$SFP = \begin{cases} 1, & 5 > e \geq 20 \\ 3 & 20 > e \geq 55 \\ 4 & 55 > e \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

$$SFD = \begin{cases} 1-20 & > e \geq -5 \\ 3-5 & > e \geq -55 \\ 4 & -55 > e \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

$$SFO = \begin{cases} 15 & > LA \geq 8 \\ 3 & 8 > LA \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

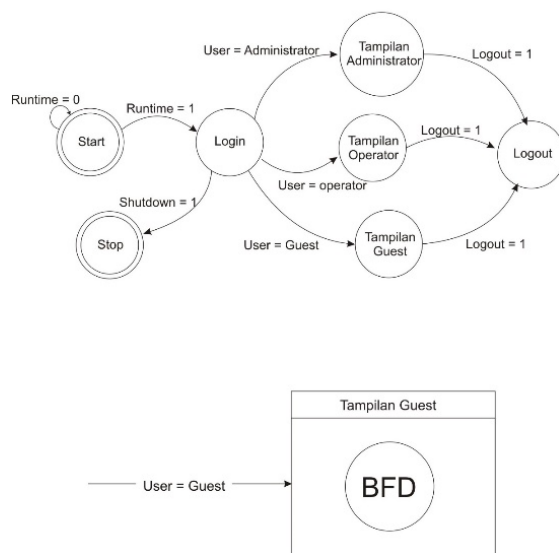
Terdapat tiga rule *control* algoritma master yang

diberikan pada setiap *plant*, yaitu rule Setpoint *Flowmeter* air Panas (SFP), Setpoint *Flowmeter* air dingin(SFD) dan setpoint *flow* out (SFO). Rule Control ditunjukkan pada persamaan (2), (3), dan (4)

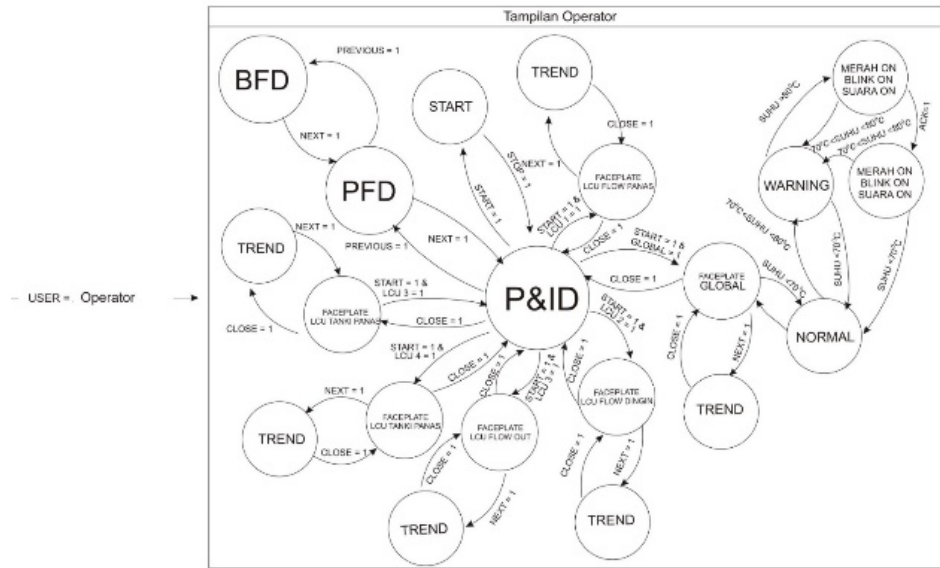
3.3 Perancangna *Human Machine Interface*

Perancangan tampilan HMI dibuat sesuai dengan fasilitas perangkat lunak yang akan digunakan yakni FAST/TOOLS. Pada perangkat lunak tersebut perancangan HMI akan diaplikasikan pada Edit Module. HMI dirancang agar mudah dipahami, nyaman dilihat, dan informatif. Selain itu, HMI dilengkapi dengan beberapa fitur yang dapat diakses oleh operator atau pengguna. Tampilan dan rancangan HMI dibuat berdasarkan *State Flow Diagram* yang telah dirancang seperti pada gambar 5, 6 dan 7.

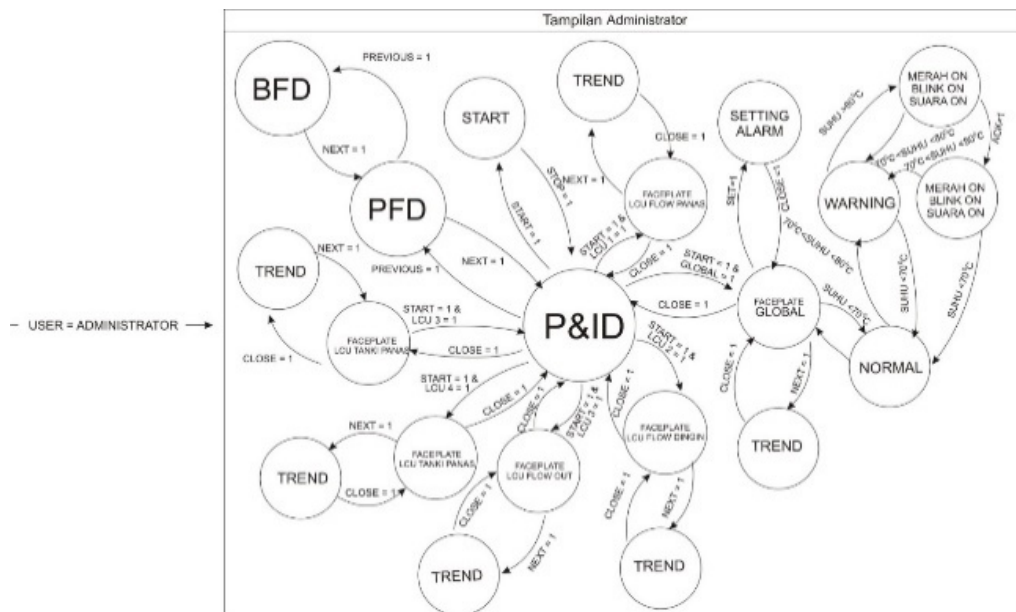
STATE FLOW DIAGRAM



Gambar 5. State Flow Diagram Tampilan Guest



Gambar 6. State Flow Diagram Tampilan Operator

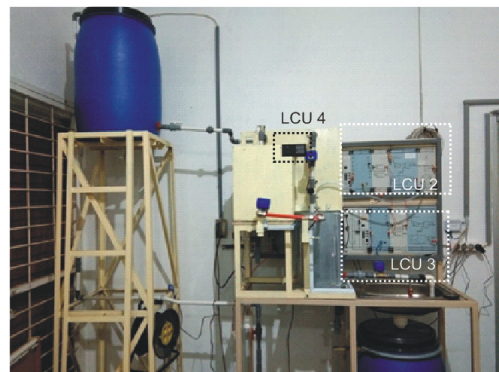


Gambar 7. State Flow Diagram Tampilan Administrator

4. HASIL

4.1 Integrasi Sistem

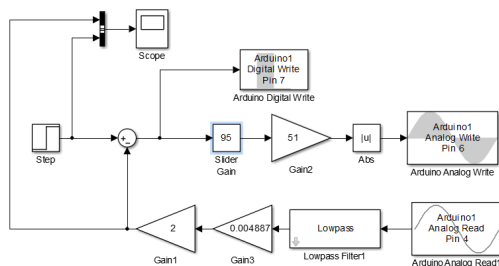
Pada tahap integrasi sistem, sistem direalisasikan berdasarkan apa yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Integrasi sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Integrasi Sistem keseluruhan

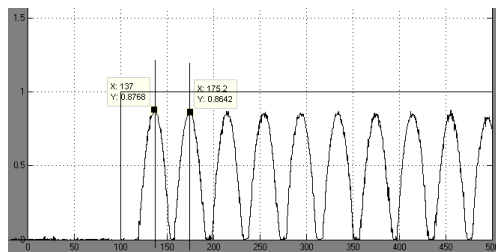
4.2 Local Control Unit 1

Local Control Unit 1 merupakan subsistem *controller* yang mengendalikan *plant motorized operated valved* air panas. Pengendalian *plant* ini menggunakan pengendali PID dengan parameter hasil dari perhitungan dengan metode Ziegler-Nichols 2. Parameter pengendalian didapatkan dengan menggunakan software MATLAB dengan sistem tertutup seperti gambar 9 berikut



Gambar 9. Blok Sistem Tertutup pada Matlab

Untuk mendapatkan parameter dilakukan pengaturan Slider Gain hingga mendapatkan respon dengan osilasi sempurna seperti gambar 10.



Gambar 10. Respon Hasil dari ZN2

Setelah mendapatkan parameter K_{cr} (K_u) P_{cr} (T_u) yang telah konversi dari waktu real ke waktu matlab sebesar 0.08144 menjadi 3.143584.

4.3 Local Control Unit 2

Local Control Unit 2 merupakan subsistem *controller* yang mengendalikan *plant motorized operated valved* air dingin. Pengendalian *plant* ini menggunakan pengendali PID dengan parameter hasil dari perhitungan dengan metode Ziegler-Nichols 2. Parameter pengendalian didapatkan dengan cara yang sama seperti pada pengujian LCU2 yaitu menggunakan software MATLAB dengan sistem tertutup seperti gambar 6 dengan besaran *slider gain* yang terus diatur sampai mendapatkan hasil respon dengan osilasi sempurna seperti gambar 12.

Nilai parameter kendali didapatkan dengan menggunakan persamaan (5), (6) dan (7).

$$K_{cr} = 95$$

$$P_{cr} = 3.143584$$

$$K_p = 0.6 \times K_{cr} \dots \dots \dots (5)$$

$$K_p = 0.6 \times 95 = 57$$

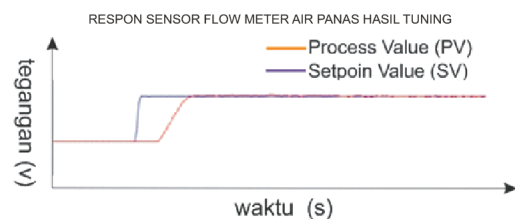
$$T_i = 0.5 \times P_{cr} \dots \dots \dots (6)$$

$$T_i = 0.5 \times 3.143584 = 1.571792$$

$$T_d = 0.125 \times P_{cr} \dots \dots \dots (7)$$

$$T_d = 0.125 \times 3.143584 = 0.392948$$

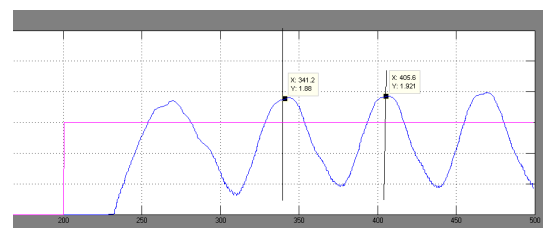
Parameter tersebut dimasukkan pada program LCU untuk mendapatkan respon awal sistem. Kemudian untuk mendapatkan respon yang sesuai maka dilakukanlah proses tuning berdasarkan tabel 1 dengan besaran $K_p=57$, $T_i=1.5$, dan $T_d=0.39$ dan didapatkan hasil respon seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Respon Akhir Hasil Tuning LCU1

Pada respon hasil tuning dapat dianalisis bahwa sistem memiliki nilai seperti berikut :

1. *Setling Time* = 2.8 s
2. *Overshoot* = 1.26%
3. *Rise time* = 1.6226 s



Gambar 12. Respon Hasil dari ZN2

Setelah mendapatkan parameter K_{cr} (K_u) P_{cr} (T_u) yang telah konversi dari waktu real ke waktu matlab sebesar 0.057 menjadi 3.693, kemudian nilai parameter kendali didapatkan dengan menggunakan persamaan (5), (6) dan (7).

$$K_{cr} = 19$$

$$P_{cr} = 3.693$$

$$Kp = 0.6 \times K_{cr} \dots \dots \dots (5)$$

$$Kp = 0.6 \times 19 = 11.4$$

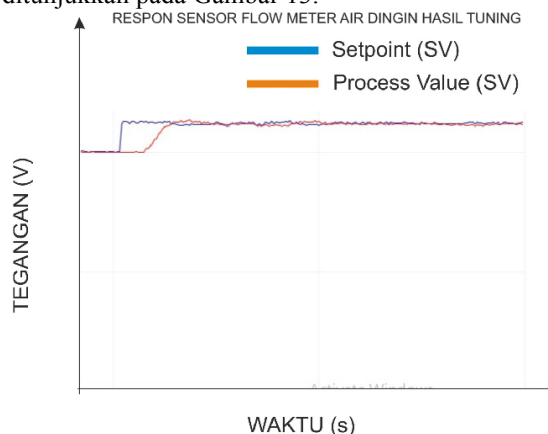
$$Ti = 0.5 \times P_{cr} \dots \dots \dots (6)$$

$$Ti = 0.5 \times 3.693 = 1.8195$$

$$Td = 0.125 \times P_{cr} \dots \dots \dots (7)$$

$$Td = 0.125 \times 3.693 = 0.454875$$

Parameter tersebut dimasukkan pada program LCU untuk mendapatkan respon awal. Kemudian dilakukan proses tuning sampai mendapatkan respon yang diinginkan dengan besaran parameter akhir $Kp=11.4$ $Ti=1.84$ $Td=3.69$. Respon yang didapatkan setelah hasil tuning ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Respon Akhir Hasil Tuning LCU2

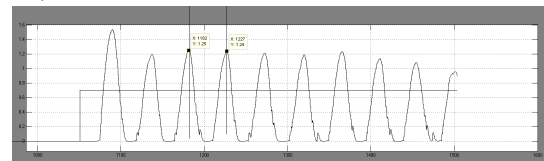
Berdasarkan respon hasil manual tuning maka di dapatkan nilai-nilai paramater seperti berikut ini:

1. *Settling time* = 2,91s
2. *Overshoot* = 1,34%
3. *Rise time* = 0,71s

4.4 Local Control Unit 3

Local Control Unit 3 merupakan subsistem *controller* yang mengendalikan *plant motorized operated valved* pengendali *flow out*. Pengendalian *plant* ini menggunakan pengendali PID dengan parameter hasil dari perhitungan dengan metode Ziegler-Nichols 2. Parameter pengendalian didapatkan dengan cara yang sama seperti pada pengujian LCU2 yaitu menggunakan software MATLAB dengan sistem tertutup seperti gambar 6 dengan besaran slider gain yang terus diatur sampai mendapatkan hasil

respon dengan osilasi sempurna seperti gambar 14.



Gambar 14. Respon dari hasil perhitungan ZN2

Setelah mendapatkan parameter K_{cr} (K_u) P_{cr} (T_u) yang telah konversi dari waktu real ke waktu matlab sebesar 0.091814 menjadi 4.131637, kemudian nilai parameter kendali didapatkan dengan menggunakan persamaan (5), (6) dan (7).

$$K_{cr} = 30$$

$$P_{cr} = 4.131637$$

$$Kp = 0.6 \times K_{cr} \dots \dots \dots (5)$$

$$Kp = 0.6 \times 30 = 18$$

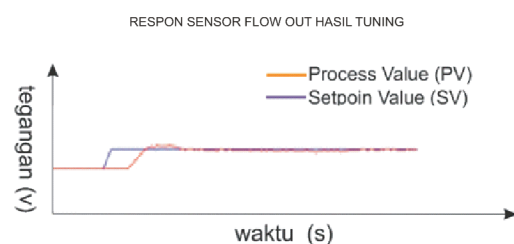
$$Ti = 0.5 \times P_{cr} \dots \dots \dots (6)$$

$$Ti = 0.5 \times 4.131637 = 2.065818$$

$$Td = 0.125 \times P_{cr} \dots \dots \dots (7)$$

$$Td = 0.125 \times 4.131637 = 0.5164$$

Parameter tersebut dimasukkan pada program LCU untuk mendapatkan respon awal. Kemudian dilakukan Untuk mendapatkan respon yang sesuai maka dilakukanlah proses tuning berdasarkan tabel 1 dengan besaran $Kp=15$, $Ti=6$, dan $Td=0.61$ dan didapatkan hasil respon seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Respon Akhir Hasil Tuning LCU 3

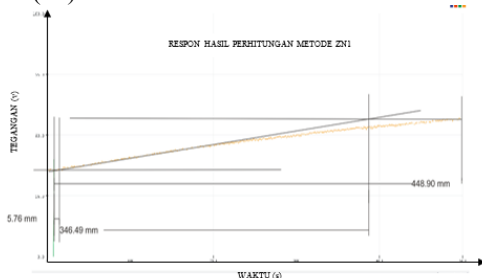
Pada respon hasil tuning dapat dianalisis bahwa sistem memiliki nilai seperti berikut :

1. *Settling Time* = 2.34 s
2. *Overshoot* = 1.9%
3. *Rise time* = 2.2 s

4.5 Local Control Unit 4

Local Control Unit 4 sub sistem kendali yang mengendalikan suhu pada tanki 1 (panas). LCU ini berupa *Temperature controller* Autonics TK4S-T4SN yang merupakan kendali suhu dengan menggunakan kendali PID dengan metode ZN1. Komunikasi pada LCU ini dengan menggunakan *Modbus Ethernet Protocol* yang sebelumnya dikonversi dulu dari RS-485 menggunakan modul ADAM 4572 Modbus Gateway.

Parameter pengendalian pada LCU 1 didapatkan dari hasil perhitungan dengan metode ZN1 dengan hasil respon hasil perhitungan pada gambar 16 dengan besar nilai parameter pengendali didapatkan dari persamaan (8), (9), dan (10).



Gambar 16. Respon hasil perhitungan ZN1

kemudian nilai parameter kendali didapatkan dengan menggunakan persamaan (8), (9) dan (10).

$$T = 1898.7$$

$$L = 31.67$$

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} \dots \dots \dots (8)$$

$$K_p = 1.2 \times \frac{1898.7}{31.67} = 71.95$$

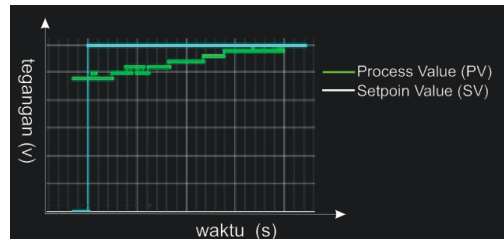
$$T_i = 2 \times L \dots \dots \dots (9)$$

$$T_i = 2 \times 31.67 = 63.34$$

$$T_d = 0.5 \times L \dots \dots \dots (10)$$

$$T_d = 0.5 \times 31.67 = 15.835$$

Parameter tersebut dimasukkan pada program LCU untuk mendapatkan respon awal. Kemudian untuk mendapatkan hasil respon yang diinginkan maka dilakukan tuning sesuai dengan parameter tuning pada tabel 1 dengan besaran $K_p=3$, $T_i=70$, dan $T_d=20$ dan didapatkan hasil respon seperti pada gambar 17.



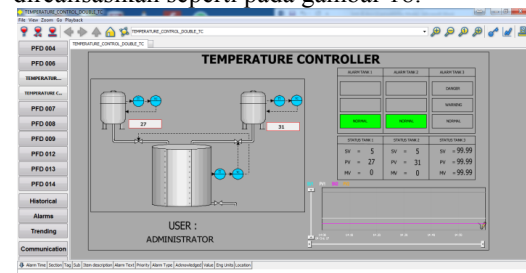
Gambar 17. Respon Akhir Hasil Tuning

Pada respon hasil tuning dapat dianalisis bahwa sistem memiliki nilai seperti berikut :

1. *Settling Time* = 611 s
2. *Overshoot* = 0%
3. *Rise time* = 628 s

4.6 Human Machine Interface

Realisasi HMI menggunakan FAST/TOOLS Yokogawa. Dalam pembuatan HMI dibuat beberapa fungsi animasi seperti alarm, indikator suhu dalam tangki, dan nilai-nilai yang diukur seperti level air dan temperatur. HMI yang direalisasikan seperti pada gambar 18.



Gambar 18. HMI yang Telah Didesain Dan Ditampilkan Pada Operator Interface Software

4.7 Pengujian Master Control Unit

Pengujian *Master Control Unit* ini dilakukan untuk membuktikan cara kerja dari MCU untuk menentukan setiap Set point sub sistem *controller* apabila diberikan SV global oleh operator untuk mendapatkan hasil suhu pencampuran air yang sama dengan SV globalnya. Hasil Pengujian Master Control Unit terdapat pada gambar 19

Pada respon global pengujian *Master Control Unit* dapat dianalisis bahwa sistem memiliki nilai seperti berikut:

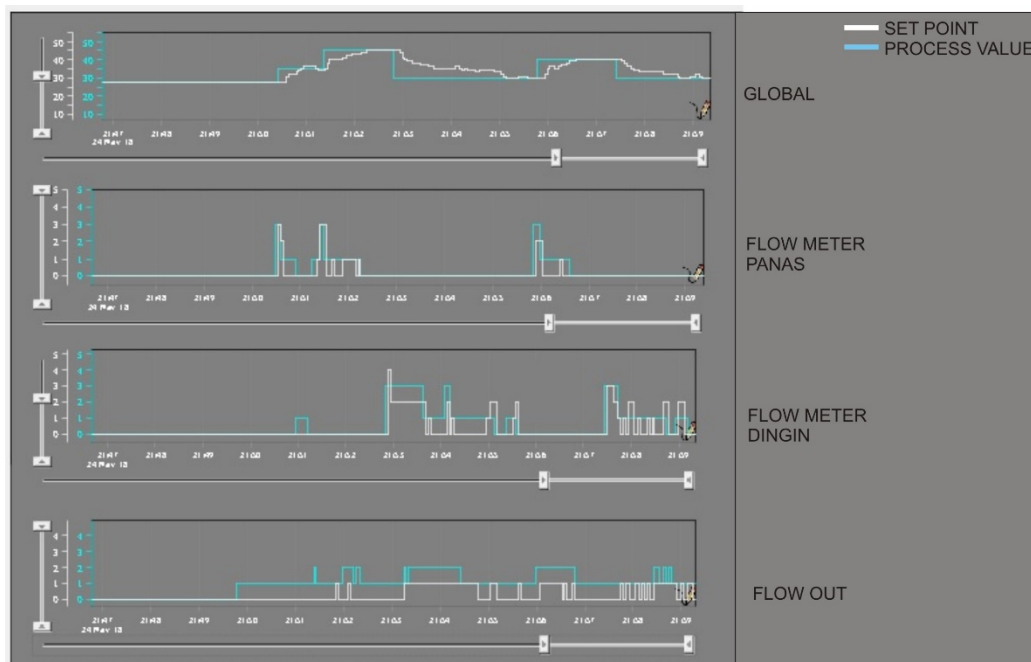
1. *Settling time* = 29.88s
2. *Overshoot* = 5.7%
3. *Rise time* = 117.3s

Berdasarkan respon sistem secara global yang ditunjukkan pada gambar 19, saat setpoint yang diberikan melebihi dari nilai pembacaan suhu awal yaitu 28°C maka *plant flow* meter air panas

akan mengendalikan motorized valved untuk mengeluarkan air panas, *flow* meter air dingin akan menutup dan karena level air menunjukkan level lebih dari 5cm maka *flow* out juga membuka sebesar 1L/min. Setelah stabil maka Master akan memberikan setpoint pada *flow* meter air panas sebesar 0 L/min. kemudian pada pengujian nilai Setpoint global berada dibawah nilai pembacaan suhu pada tanki pencampuran yaitu sebesar 50°C, maka *plant flow* meter air

dingin akan mengendalikan motorized valve untuk mengeluarkan air dingin sampai suhu yang diinginkan tercapai, dan *plant flow* air panas akan menutup.

Dari respon pengujian yang didapat, prinsip kerja semua *plant* sudah berkoordinasi dengan baik. Pada saat setpoint global diberikan lebih besar atau lebih kecil dari nilai suhu pada tanki pencampuran sebelumnya, ketiga *plant* bekerja sesuai dengan *rule control* algoritma



Gambar 19. Hasil Pengujian Master Control Unit

master. Akan tetapi terdapat kekurangan pada algoritma *flow* out pada saat setpoint *flow* out diberikan, ketinggian air tidak memungkinkan untuk dibuang karena lubang buang pada tanki berada pada ketinggian 5cm. Oleh karena itu, perlu adanya tuning rule control algoritma master agar disesuaikan dengan respon pengujian sebelumnya. Adapun tuning rule control algoritma ditunjukkan pada persamaan (11), (12), dan (13).

$$SFP = \begin{cases} 1, & 2 > e \geq 20 \\ 3 & 20 > e \geq 55 \\ 4 & 55 > e \end{cases} \quad (2)$$

$$SFD = \begin{cases} 1 & -0 > e \geq -2 \\ 2 & -2 > e \geq -25 \\ 3 & -25 > e \geq -55 \\ 4 & -55 > e \end{cases} \quad (3)$$

$$SFO = \begin{cases} 1 & 10 > LA \geq 15 \\ 2 & 15 > LA \geq 35 \\ 3 & 35 > LA \end{cases} \quad (4)$$

Setelah melakukan proses tuning *Rule control* algoritma master, maka dilakukan pengujian kembali untuk membuktikan Rule control hasil tuning. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 20.

Pada respon global pengujian Master Control Unit hasil tuning rule control dapat dianalisis bahwa sistem memiliki nilai seperti berikut:

1. *Settling time* = 19.2s
2. *Overshoot* = 0%
3. *Rise time* = 45.3 s

Secara prinsip kerja semua *plant* sudah berkoordinasi dengan baik. Saat *plant* temperatur membutuhkan pendinginan atau pemanasan sistem ketiga *plant* telah saling terkoordinasi dan memberikan aksi yang sesuai. Akan tetapi dilihat dari grafik masih ada kekurangan saat suhu diturunkan. *Plant* cenderung merespon lambat dan membutuhkan

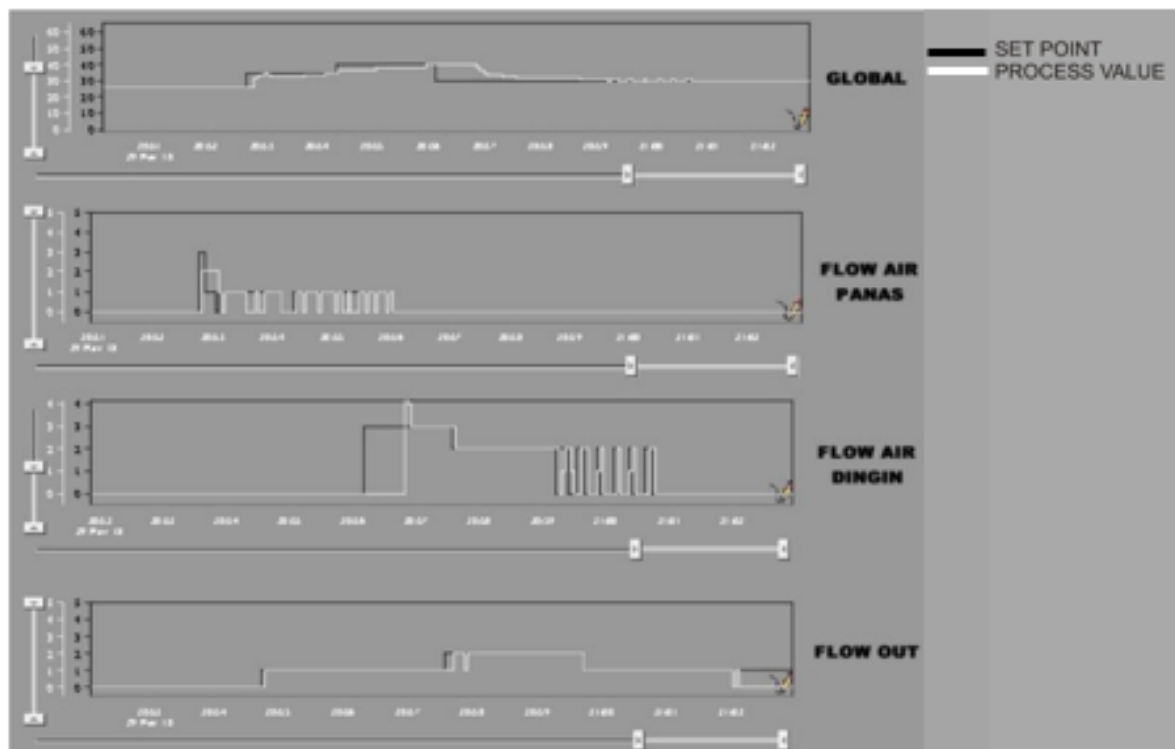
waktu 6 menit sampai suhu terus turun sesuai dengan setpoint dan tidak berubah. Hal ini dikarenakan pada *plant* temperatur membutuhkan mixer agar air pencampuran tercampur sempurna agar sesuai dengan nilai setpoint yang diberikan.

5. KESIMPULAN

Pada *paper* ini, metode DCS diaplikasikan pada sistem pengendalian pencampuran air dengan mengkoordinasikan empat buah LCU. Nilai parameter kendali setiap LCU didapatkan dengan menggunakan metode Ziegler Nichols. Master Control Unit digunakan untuk mengendalikan keempat LCU berdasarkan *Rule Master* yang telah ditentukan. Perancangan *Rule Master* didapatkan berdasarkan nilai *setpoint* yang ditentukan sesuai dengan nilai *error* setiap LCU.

Parameter kendali LCU 1 adalah $K_p=5$, $T_i=10$ dan $T_d=0,39$, untuk LCU 2 adalah $K_p=2$, $T_i=10$, dan $T_d=0,46$, pada LCU 3 yaitu $K_p=8$, $T_i=6$, dan $T_d=0,6$. dan pada LCU 4 adalah $K_p=3$, $T_i=70$ dan $T_d=20$.

Dari hasil pengujian integrasi *Master Control Unit* hasil tuning dapat disimpulkan bahwa sistem telah terkoordinasi sesuai dengan rancangan prinsip kerja dan didapatkan respon global dengan nilai *settling time* sebesar 19.2s, *Overshoot* sebesar 0% dan *rise time* sebesar 45.3s. Perkembangan Metode Master Control Unit sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil respon yang lebih optimal



Gambar 20. Hasil Pengujian *Master Control Unit*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pembimbing dan pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian *paper* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. NN. "Dcs Pada PT Kaltim Metanol Industri," Malang:Politeknik Negeri Malang. 2014.
- [2]. Felix Pasila, Stephanus A. Ananda, Nelson Kusuma Rahardja. "Sistem Automasi Proses Produksi Minuman dengan Sistem Scada Menggunakan PLC," Surabaya:Universitas Kristen Petra. 2004.
- [3]. Alfi Taufik Ramdani. "Coordinated Multi Loop Control Systems pada Pengendali Temperatur Berbasis Industrial Robustness-RTU," Bandung. Politeknik Negeri Bandung. 2017

- [4]. Trisno Yuwono Putro. "Studi Optimalisasi Metoda Penalaan Ziegler- Nichols pada Pengendalian Level Air Sistem Couple-Tank Menggunakan Kendali PID Digital," *Bandung. Politeknik Negeri Bandung*. 2012
- [5]. Iyas Munawar, Roro Rusolindo. "Desain Sistem Kendali Suhu Dengan Metode PID Tuning Fuzzy Pad prototipe Proses Pembuatan Susu Asam Secara Curah," *Bandung. Politeknik Negeri Bandung*. 2002
- [6]. Edi Rakhman, Feriyonika, Suheri Bakar. "Distributed Control System Applied in Temperatur Control by Coordinating Multi-loop Controllers," *Bandung. Politeknik Negeri Bandung*. 2015