

Perancangan Sistem Kontrol *On/Off* Multivariabel Level dan Temperatur Berbasis *Microcontroller*

Ridwan Yunus¹, V. Vekky R. Repi¹, Fitria Hidayanti¹

¹Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jl. Sawo
Manila, Pejaten, Pasar Minggu, Jakarta Selatan – Jakarta 12520

Korespondensi: vekky_repi@yahoo.com

ABSTRAK. Proses yang ada di industri umumnya mempunyai karakteristik yang *non linier*, *multivariabel* dan kompleks. Pada penelitian ini telah dilakukan pengendalian multivariabel yaitu level dan temperatur dengan aplikasi sistem *miniplant Boiler* dimana fungsinya adalah mengubah air menjadi uap dengan menggunakan metode pengendalian kontrol *on/off* menggunakan *mikrokontroller*. Dari hasil simulasi diperoleh *rise time* untuk pengendalian *level* adalah 733 detik dan untuk pengendalian *temperatur* 1013 detik. Sedangkan hasil dari pengujian *miniplant* diperoleh *rise time* untuk pengendalian *level* adalah 570 detik dan untuk pengendalian *temperature* adalah 1240 detik. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian pada *miniplant* tidak dapat di aplikasikan pada sistem dinamis.

Kata kunci: Boiler, Multivariabel, Pengendalian level, Pengendalian temperatur, Mikrokontroller.

PENDAHULUAN

Sistem pengendalian merupakan faktor yang sangat penting dalam Industri. Pada sistem pengendalian, parameter fisis yang dapat di kontrol antara lain temperatur, level, tekanan, aliran dan lain sebagainya. Agar hasil produksi dapat berjalan dengan baik secara terus menerus, maka di perlukan sistem pengendalian. Pada umumnya proses yang ada di industri mempunyai karakteristik yang non linier, multivariabel dan kompleks. Dari proses yang terjadi pada Boiler, maka dapat dikatakan bahwa proses Boiler merupakan sistem pengendalian Multivariabel [1]. Dengan adanya Multi *Input* Multi *Output* (MIMO) yang saling terkait yang harus dikendalikan. Dalam penelitian ini yang akan dikendalikan yaitu, level dan temperatur.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat desain rancangan sistem kontrol, menentukan alat dan bahan yang akan digunakan untuk keperluan sistem kontrol *miniplant* multivariabel, level dan temperatur. Penelitian ini juga merakit sistem kontrol yang akan di gunakan sesuai desain yang dibuat sehingga rangkaian kontrol tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya [2].

Perancangan sistem pengendalian pada miniatur *plant* multivariabel pada penelitian ini bertujuan agar *miniplant* dapat bekerja sesuai dengan *set point* yang diberikan. Pada sistem kontrol di bidang Industri umumnya memiliki sistem multi variabel atau multi *input* multi *output* (MIMO). Sama dengan boiler sebagai alat proses yang membutuhkan pengendalian MIMO. Penggunaan boiler berbeda-beda fungsinya pada setiap suatu sistem produksi. Hal ini karena setiap produksi membutuhkan parameter fisis yang berbeda-beda tergantung dari proses yang dibutuhkan. Oleh karena itu diperlukan percobaan lebih lanjut dengan menggunakan parameter fisik dalam hal ini *miniplant* untuk mengetahui hasil dari perancangan sistem pengendalian yang membutuhkan pengendalian MIMO.

Batasan-batasan penelitian dari penelitian ini bertujuan agar sistem dapat berjalan sebagaimana hasil perancangan. Selain itu batasan di perlukan agar pembahasan yang akan di lakukan lebih spesifik. Adapun batasan yang digunakan antara lain. Hanya menggunakan parameter fisis level dan temperatur yang di kontrol. Ketinggian level yang diinginkan adalah 10 cm. Temperatur yang diinginkan adalah 100°C. Pengaturan temperatur dan level di sesuaikan dengan kondisi *miniplant* yang akan di buat. Pengontrolan menggunakan mikrokontroller Arduino UNO R3 dengan sistem kontrol ON/OFF [3]. Sistem perancangan dilakukan dengan membuat dan menguji sistem kontrol level dan temperatur pada *miniplant* multivariabel level dan temperatur dengan sistem pengendalian yang berbasis kontrol ON/OFF.

LANDASAN TEORI

Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar [4].

Variabel dinamis yang harus dikontrol pada boiler agar proses pemisahan dapat berlangsung secara optimal adalah level fluida cair di dalam tangki. Level fluida yang terlalu tinggi akan menyebabkan fluida gas (steam) yang dihasilkan akan mengandung uap air sehingga akan membahayakan proses berikutnya. Sebaliknya bila level fluida terlalu rendah maka akan menghasilkan fluida gas (steam) yang terlalu kering sehingga steam yang dihasilkan tidak akan dapat digunakan pada proses produksi selanjutnya. Fungsi alih sistem seperti persamaan (1):

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCs+1} \quad (1)$$

Q_i adalah debit air masukan(cm^3/s); Q_o adalah debit air keluaran (cm^3/s); H adalah level air (cm); g adalah percepatan gravitasi(m/s^2); dan A_o adalah luas penampang(cm^2).

Bertujuan untuk menjaga *pressure steam* yang dihasilkan boiler agar selalu sesuai dengan yang dikehendaki (sesuai *setpoint*-nya). Oleh karena itu, dalam konfigurasi sistem ini, temperatur dari uap yang dihasilkan digunakan sebagai *input* untuk mengatur kontrol laju aliran fluida. Hal ini bertujuan untuk kalor yang dibutuhkan sesuai dengan banyak air yang terdapat di dalam boiler. Sehingga proses penguapan terjadi dengan baik [5].

Pemodelan matematis untuk pengendalian temperatur pada tangki boiler, menggunakan asumsi dimana jumlah massa total adalah sama dengan massa yang masuk dikurang dengan massa yang keluar [6]. Fungsi alih sistem seperti pada persamaan (2):

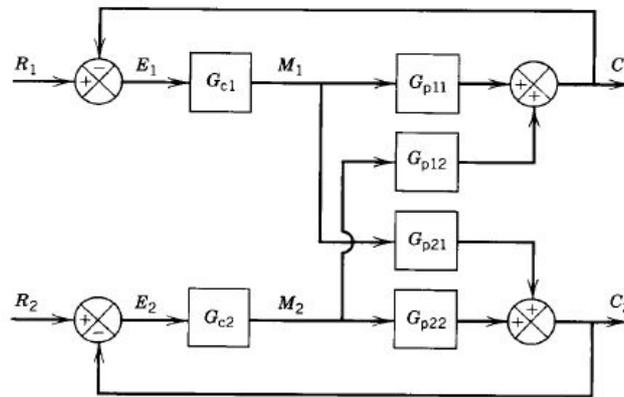
$$\frac{T(s)}{Q_h(s)} = \frac{\rho.C_p.F_i}{\left(\frac{A.h}{F_o}\right).s+1} \quad (2)$$

Dimana ρ adalah massa jenis air(kg/cm^3); C_p adalah kapasitas kalor air (kalori/gram $^\circ\text{C}$); F_i adalah aliran air yang masuk (cm^3/s); F_o adalah aliran air yang keluar (cm^3/s); A adalah luas penampang tangki (cm^2); H adalah ketinggian permukaan air (cm); Q_h adalah laju aliran kalor (Joule).

Pada proses industri, banyak sistim interaksi variabel *input-output*. Perubahan suatu *input* kadang tidak hanya berpengaruh pada satu *output* saja, melainkan bisa berpengaruh pada *output* lain dikarenakan dinamika dari proses yang terjadi pada sistem [7].

Konfigurasi diagram blok diatas telah disederhanakan dengan mengasumsikan *aktuator* dan sensor telah menjadi satu bagian. Pada konfigurasi diatas menunjukkan bahwa interaksi proses dapat menyebabkan interaksi yang tidak diinginkan antara kontrol. misalnya, 2x2 kontrol digunakan dan perubahan yang terjadi pada *output* C_1 jauh dari *set point input* R_1 , maka hal-hal berikut ini terjadi:

- Pengendali untuk loop 1 (GC_1) menyesuaikan M_1 sehingga perubahan pada C_1 akan kembali pada *set point*. Walaupun demikian, M_1 akan tetap memberikan efek pada C_2 dengan *fungsi alih* Gp_{21} .
- Dengan perubahan pada C_2 , kontrol siklus 2 (GC_2) menyesuaikan M_2 sehingga perubahan pada C_2 akan kembali pada *set point*. Bagaimanapun, M_2 akan tetap memberikan efek pada C_1 dengan *fungsi alih* Gp_{12} .

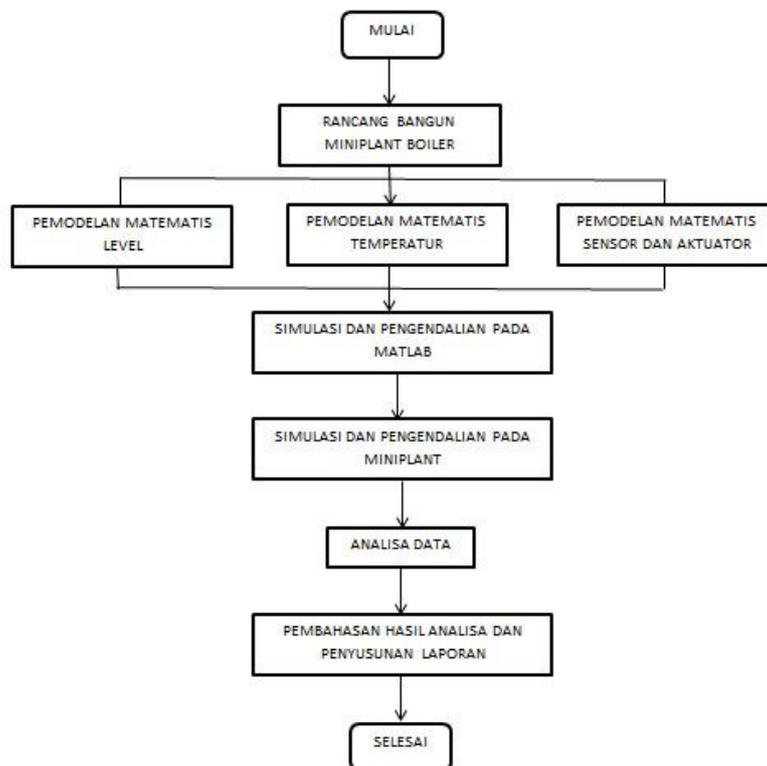


GAMBAR 1. Diagram Blok Multivariabel dengan *Feedback*

Aksi kontrol akan menghasilkan proses yang sesuai hingga *set point* tercapai. Dengan perubahan pada M_1 mempunyai 2 efek, efek yang pertama langsung pada C_1 (*direct effect*) dan efek tidak langsung pada C_2 dengan interaksi *fungsi alih* G_{p21} . Penyederhanaan interaksi dari multivariabel dengan 2×2 *input output* sesuai dengan perilaku dinamis melihat dari urutan kejadiannya. Namun, dalam prakteknya variabel proses akan berubah terus menerus dan terjadi secara simultan.

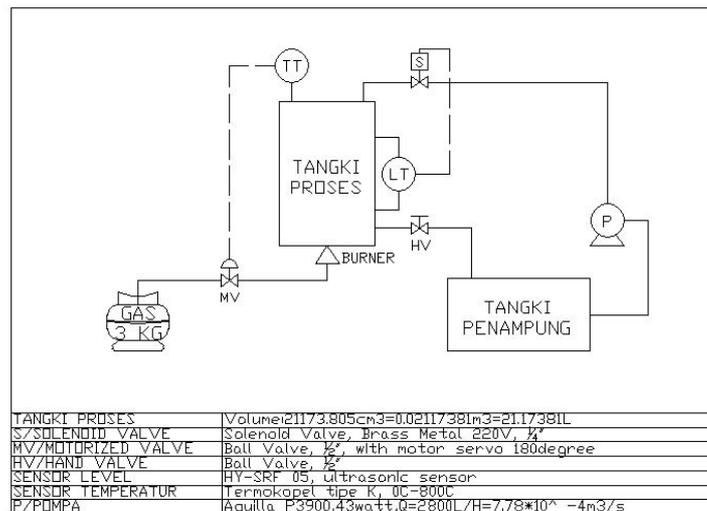
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini penulis akan menunjukkan urutan tahapan-tahapan dalam menyelesaikan penelitian ini, seperti dapat pada gambar 2 sebagai berikut:



GAMBAR 2. Alur Diagram Penelitian

Berikut ini pada gambar 3, merupakan gambaran dari sistem miniplant boiler, sebagai alat bantu berupa skema untuk memberikan konsep desain perancangan alat.

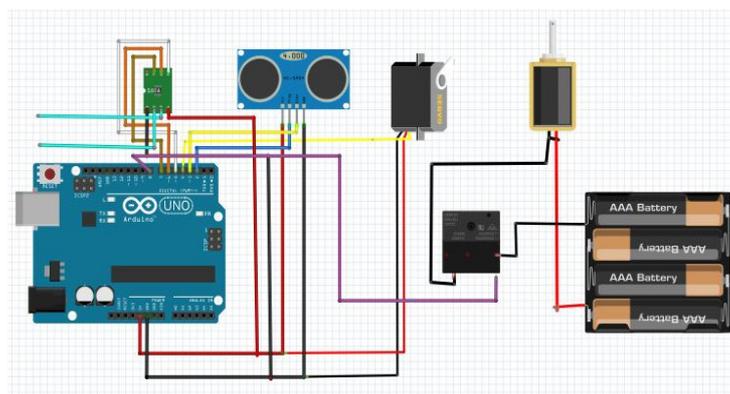


GAMBAR 3. Piping & Instrument Diagram Miniatur Plant.

Dari Gambar 3, tentang P&ID, dapat dilihat ada 2 (dua) proses pada Boiler. Proses pertama adalah air masuk melalui tangki penampung dengan didorong oleh pompa, lalu solenoid valve akan mengatur aliran yang masuk sesuai dengan yang dibaca oleh level transmitter. Proses kedua adalah air yang telah masuk dalam boiler akan di panaskan oleh burner, gas yang menuju burner diatur sesuai dengan bacaan dari temperatur transmitter.

Pada gambar (4) adalah skema dari pengkabelan ke kontroller yaitu mikroPengendali terhadap sensor dan aktuator serta catu daya. Sensor ultrasonik sebagai pengukur jarak yang digunakan untuk mengukur permukaan air pada slight glass mempunyai dua pin input ke mikroPengendali, yaitu pin Trig dan Echo dihubungkan ke pin 5 dan 4 pada mikroPengendali.

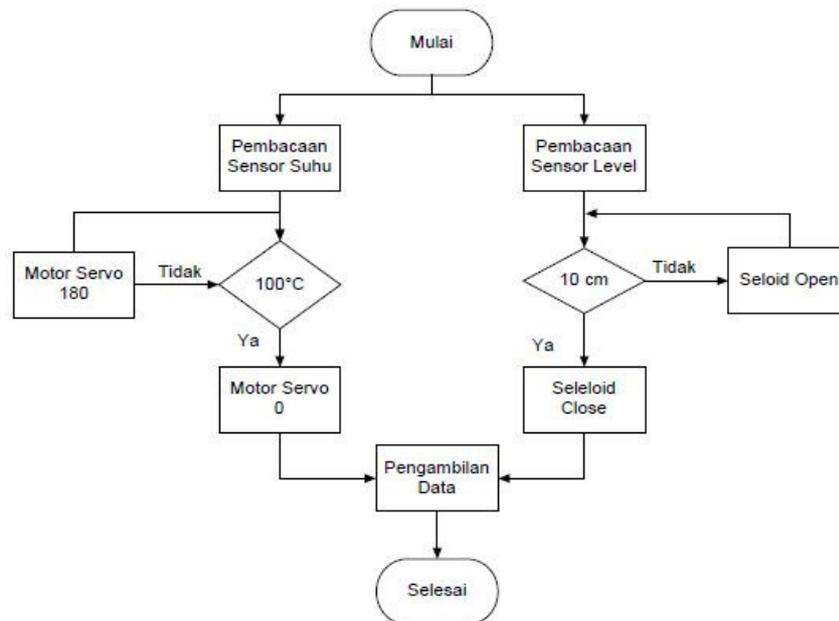
Untuk sensor temperatur mempunyai 3 pin input, yaitu CSO, SO dan CLK dihubungkan ke pin 6, 7 dan 8 pada mikroPengendali. Sedangkan untuk motor servo sebagai penggerak valve atau katup dihubungkan ke pin 2 dan 3 untuk kabel PWM dari motor servo. Semua perlengkapan divais, pin VCC serta mikorPengendali dihubungkan dengan catu daya 5V dan Gnd [8].



GAMBAR 4. Wiring Diagram Pengendali.

Pada gambar 4 merupakan konfigurasi mikro pengendali dan catu daya yang diberikan pada sistem. Program mikroPengendali untuk pengendalian level dan temperatur, awalnya harus menginisiasi alat yang akan digunakan. Dalam penelitian ini yaitu relay untuk level, servo untuk valve gas dan sebagai pengkonversi sensor termokopel.

Pada gambar 5 merupakan alur dari program yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan mikrokontroller Arduino UNO R3 [9].



GAMBAR 5. Alur Diagram Program.

Perancangan sistem miniplant multivariabel ini pada gambar 6, terdiri dari dua alur kerja, yaitu proses pengisian air ke dalam tangki dan juga proses perubahan air menjadi uap. Pada proses pengisian air ke dalam tangki proses dengan diameter dalam 27 cm dan tinggi 35 cm. Sistem ini juga menggunakan pompa dengan kemampuan 2800 L/H. Sementara untuk proses perubahan air menjadi uap, digunakan *burner* atau kompor gas. Pemilihan penggunaan kompor gas berdasarkan karena tidak banyak energi yang digunakan dibanding menggunakan elemen pemanas.



GAMBAR 6. Hasil perancangan sistem miniaturnya multivariabel level dan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model matematis pada tangki sesuai persamaan (3) diperlukan penyederhaan dengan parameter *flow-rate* sebagai *input* dan level sebagai *output*. Diketahui resistansi adalah perubahan perbedaan permukaan yang diperlukan untuk membuat satu satuan perubahan laju aliran, yaitu $R = H/Q_{in}$ adalah sama dengan $1.5 \text{ cm}^3/\text{s}$. Perubahan ketinggian yang diperlukan untuk membuat perubahan potensial sebesar satu satuan adalah 572.265 cm^2 . Maka persamaan model matematis dari tangki boiler sesuai dengan persamaan (3) didapat nilai sebagai berikut:

$$\frac{H}{Q} = \frac{1.5}{858.4s+1} \quad (3)$$

Pemodelan akan mendeskripsikan energi kalor yang dibutuhkan elemen pemanas dengan temperatur air menggunakan persamaan kesetimbangan energi. Dengan asumsi massa jenis dan

kapasitas panas air konstan, air merata pada seluruh permukaan tangki, ketinggian air tetap konstan, luas penampang air tetap konstan, temperatur air yang masuk tetap konstan dan energi panas yang berdampak pada lingkungan sekitar dianggap sangat sedikit. Dari spesifikasi hasil perancangan sistem, maka diketahui untuk massa jenis air sama dengan 1 g/cm³, dengan kapasitas kalor jenis dari air 4.12 J/kg°C dan aliran masuk pada tangki sebesar 1.5 cm³/s. Sedangkan untuk luas penampang tangki proses adalah sama dengan 572.265 cm² dengan ketinggian air 10 cm. Maka persamaan model matematis dari sistem pengendalian temperatur pada tangki boiler menggunakan persamaan (4) didapat nilai sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{Qh(s)} = \frac{6.27}{5722.65s + 1} \tag{4}$$

Gain dari *transmitter* menggunakan persamaan (4) adalah sama dengan G_T = 1 (cm/cm)

Untuk mendapatkan *fungsi alih* menggunakan persamaan (5). Untuk konstanta waktu dari *transmitter* adalah 0.02 detik. Maka fungsi alih *transmitter* level adalah:

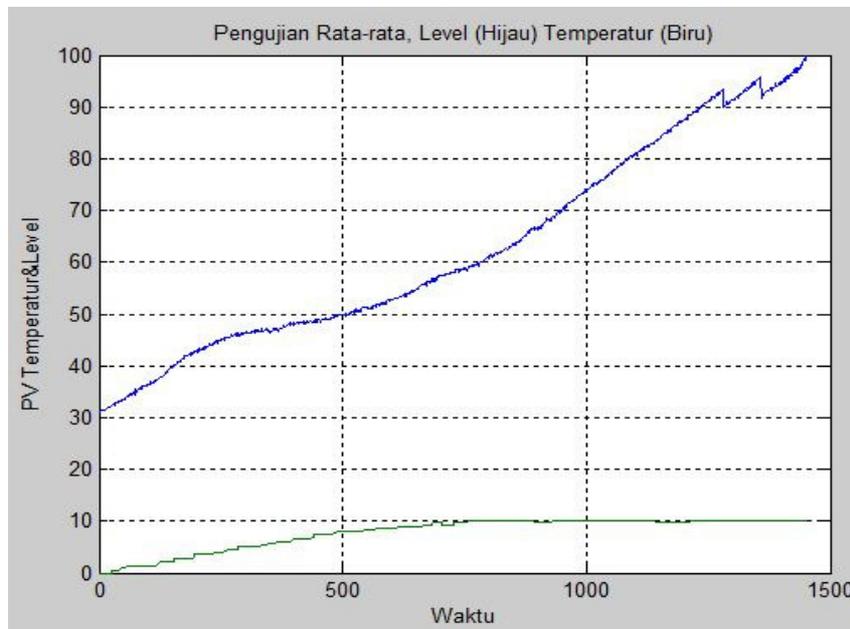
$$\frac{L_o(s)}{L_I(s)} = \frac{1}{0.02s+1} \tag{5}$$

Temperatur *transmitter* yang digunakan adalah termokopel. *Transmitter* ini bekerja dalam rentang 0-100°C. Gain dari *transmitter* adalah sama dengan G_T = 1 V/°C.

Dengan konstanta waktu dari *transmitter* adalah sama dengan 0.02 detik. Maka *fungsi alih* dari sensor temperatur adalah:

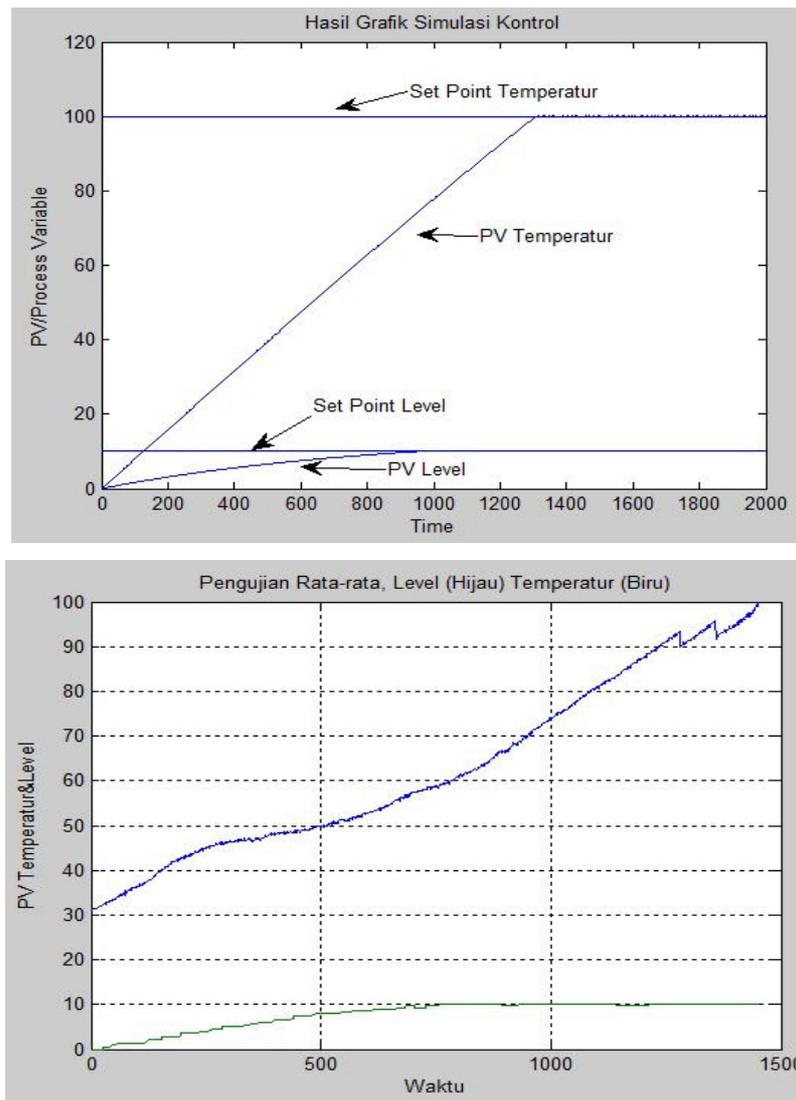
$$\frac{T_o(s)}{T_I(s)} = \frac{1}{0.02s+1} \tag{7}$$

Dari keseluruhan pengujian yang telah dilakukan, maka didapat nilai rata-rata untuk hasil pengujian. Maka grafik pengujian rata-rata dapat digambarkan sebagai berikut:



GAMBAR 7. Pengujian unjuk kerja level (hijau) dan temperatur (biru).

Dari data rata-rata pengujian maka untuk sistem pengendalian level memiliki waktu *rise time* 570 detik dan *rise time* untuk pengendalian temperatur 1240 detik. Sementara itu dapat dilihat terjadi perubahan temperatur, ini disebabkan oleh berbedanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* pada setiap pengujian.



GAMBAR 8. Perbandingan Hasil Simulasi (atas) dan Pengujian (bawah)

Dari hasil yang didapat dari pengujian seperti yang terlihat pada gambar 8, maka didapat unjuk kerja dari keseluruhan sistem seperti yang terangkum pada tabel 1 adalah sebagai berikut:

TABEL 1. Performasi Sistem.

Pengujian		t10	t90	Rise Time
Simulasi	Level	60	793	733
	Temperatur	114	1127	1013
Pengujian miniplant	Level	45	615	570
	Temperatur	130	1370	1240

Perbedaan *rise time* untuk pengendalian level disebabkan dari kurang liniernya pembacaan sensor. Sedangkan untuk perbedaan *rise time* untuk pengendalian temperatur disebabkan oleh kejernihan air, viskositas, media penghantar panas dan jenis serta ukuran kaleng. Dengan membandingkan hasil uji simulasi dari MATLAB dan pengujian langsung terhadap miniplant. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem miniplant untuk pengendalian level merupakan sistem kontrol loop *direct effect*. Karena, pada pengendalian level sistem tidak memiliki hubungan tambahan yang dapat mempengaruhi perubahan antara *input* dan *output*. Sedangkan untuk hasil uji simulasi pengendalian temperatur dari MATLAB dengan *input step* memberikan respon

yang serupa. Tetapi dari fenomena fisis yang dapat dilihat selama pengujian, respon temperatur cenderung stabil apabila tidak terjadi perubahan level atau dengan kata lain massa air yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap tetap konstan. Maka penulis beranggapan bahwa sistem pengendalian temperatur merupakan *indirect effect* [6].

KESIMPULAN

Telah dirancang sebuah sistem pengendalian level dan temperatur pada miniplant multivariabel. Pada pengujian respon siklus terbuka dengan fungsi *step* didapatkan *rise time* untuk pengendalian level 1890 detik dan untuk pengendalian temperatur 1080 detik. Pada pengujian dengan simulasi ON/OFF didapatkan *rise time* untuk pengendalian level 733 detik dan untuk pengendalian temperatur 1013 detik. Pada pengujian dengan miniplant didapatkan *rise time* untuk pengendalian level 570 detik dan untuk pengendalian temperatur 1240 detik. Pada penelitian ini dapat dinyatakan berhasil karena sistem dapat mengendalikan parameter level dan temperatur dengan *set point* yang diinginkan, dengan perubahan variabel pada sistem tidak dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Davison, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 17, pp. 621-630, 2003.
- [2] Qi Qi and Shiming Deng, *Building and Environment*, vol. 44, pp. 1659-1667, 2009.
- [3] Xiang-Dong He, Sheng Liu, Harry H. Asada and Hiroyuki Itoh, *HVAC&R Research*, vol. 4, pp. 205-230, 2011.
- [4] Ayse Kivilcim Coskum, Tajana Simunic Rosing, Keith Whisnant, *Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe*, pp. 1659-1664, 2007.
- [5] Mehmet Mercangöz and Francis J. Doyle, *Journal of Process Control*, vol. 17, pp. 297-308, 2007.
- [6] Irkhos dan Suprijadi, "Simulasi Kontrol Temperatur Berbasis Fuzzy Logic untuk Tabung Sampel Minyak Bumi pada Metode Direct Subsurface Sampling" in *J.Oto.Ktrl.Inst (J. Auto. Ctrl. Inst.)*, vol. 4, 2012.
- [7] D.E Seborg, Edgar T.F., and D.A. Mellichamp, *Process Dynamics and Control*. NY: Wiley, 1989.
- [8] Matthew Stevenson and Dr.Vassilios Tzouanas, "Temperature and Level Control of a Multivariable Water Tank Process", in *ASEE Annual Conference & Exposition, ATLANTA*, 2013.
- [9] Yoyok Dwi S.P, "Penerapan Pemodelan dan Metode Kurva Reaksi Proses Untuk Mengidentifikasi Sistem DURESS", *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*, Juli 2011.