

Pengendalian Suhu Dan Ketinggian Air Pada Boiler Menggunakan Kendali PID dengan Metode Root Locus

Wijaya Kurniawan

Abstrak— Pada makalah ini, dibahas perancangan kontroler PID untuk mengatur suhu dan ketinggian pada suatu sistem boiler dengan menggunakan root locus untuk tuningnya. Kontroler PID dipilih karena kontroler ini sudah cukup umum dipakai dan sudah banyak dikenal operator lapangan. Permasalahannya adalah kontroler ini tidak bisa dipakai pada sistem MIMO sehingga diperlukan perancangan decoupler untuk menghilangkan interaksi pada loop-loop sistem sehingga sistem dapat dipecah menjadi beberapa sistem SISO. Setelah decoupler selesai dirancang, langkah berikutnya adalah menentukan parameter PID agar sistem pengendalian memiliki pole yang berkesesuaian dengan spesifikasi desain. Karena PID menambah orde sistem, parameter PID dipilih sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan pole baru yang membuat sistem tidak stabil.

Kata Kunci: PID, root locus, MIMO, SISO

I. PENDAHULUAN

Produk yang dihasilkan dengan bahan baku karet, antara lain: selang gas, *rubber goods* dan *Mat*. Semua hasil produksi dihasilkan dengan mesin *press*. Untuk mencetak karet ini, diperlukan panas yang spesifik agar hasil pemrosesan bahan baku sesuai dengan rencana produksi. Pada bagian inilah *boiler* berperan penting. Boiler bertugas mengirimkan *steam* kepada *matras press*. Karena pentingnya tugas *boiler* ini, maka kesalahan kerja *boiler* dapat mengakibatkan suhu yang dibutuhkan pada proses produksi tidak tercapai dan mengakibatkan gagalnya proses produksi. Sebab jika suhu terlalu rendah maka cetakan pada bahan baku karet akan tidak merata. Sebaliknya jika suhu terlalu tinggi maka hasil cetakan akan terlalu tipis dan mudah putus.

Ada banyak sistem pengaturan yang digunakan dalam proses industri tetapi pada makalah ini dipilih sistem pengaturan konvensional. Sistem kontrol konvensional meliputi sistem kontrol proporsional (P), integral (I) maupun diferensial (D). Sistem kontrol konvensional digunakan untuk sistem linier dengan satu masukan dan satu keluaran. Kelebihan dari sistem kontrol konvensional adalah sistem ini telah banyak dipakai dan pemakaiannya relatif mudah.

Metode penalaan untuk parameter kontroler PID juga ada bermacam-macam, antara lain: root locus, Ziegler-

Nichols, *Cohen-Coon*, dan lain-lain. Pada makalah ini akan digunakan metode root locus karena dengan metode ini kita dapat mengetahui pengaruh perubahan parameter kontroler terhadap performansi sistem sehingga parameter kontroler dapat diubah sesuai dengan perubahan performansi sistem yang diinginkan.

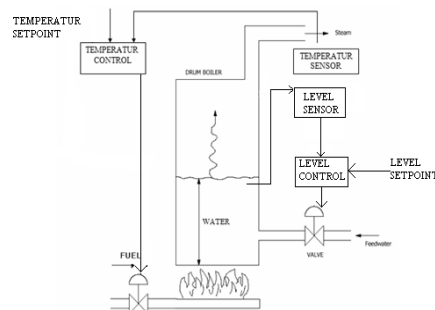
Tujuan yang akan dicapai dari pengerjaan makalah ini adalah mendesain suatu sistem pengaturan dengan kontroler PID (proporsional-integral-diferensial) menggunakan metode tempat kedudukan akar.

II. PEMODELAN MATEMATIS DAN PERANCANGAN KONTROLER

A. Sistem Boiler

Sistem *boiler* terdiri dari beberapa komponen yang menyusunnya. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah *valve* dan *drum boiler*. Skema loop tertutup sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Penjelasan dari skema loop tertutup tersebut adalah sebagai berikut: bahwa suhu steam yang diperlukan untuk proses produksi adalah 160 - 180^o C, dikontrol dengan mengatur aliran bahan bakar boiler. Air baru kembali dialirkan ke dalam boiler sebagai pengganti air yang berkurang akibat penguapan. Sistem bekerja pada P = 10 bar. Air masuk dengan suhu 30°C.

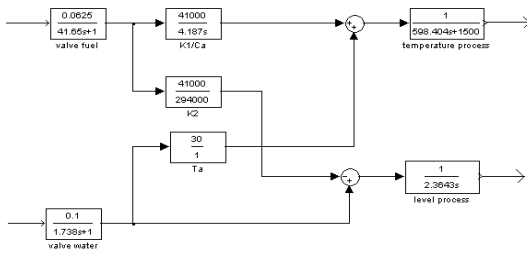


Gambar 3.1. Skema Loop Tertutup Boiler

Model matematis sistem diperlukan untuk simulasi yang bertujuan untuk mendapatkan respon dinamik sistem. Langkah pertama untuk mendapatkan model matematis sistem adalah dengan mencari persamaan matematis untuk setiap komponen yang menyusun sistem tersebut.

B. Blok Diagram Sistem Boiler

Dari data-data parameter sistem yang didapatkan dari Kurniawan, 2005, diagram blok untuk sistem boiler adalah:



Gambar 3.2. Diagram blok boiler

C. Decoupling Sistem

Dari gambar 3.2, dapat dilihat bahwa ada interaksi antara dua proses. Karena PID adalah kontroler yang digunakan pada sistem SISO, maka perlu ditambahkan *decoupler* agar sistem 2-masukan 2-keluaran tersebut dapat diubah menjadi 2 sistem SISO sehingga dapat dirancang kontroler PID-nya.

Dengan membandingkan antara gambar 2.1 dan gambar 3.2, didapat:

$$H_{11} = \frac{41000}{4,107s}, H_{12}(s) = \frac{30}{1},$$

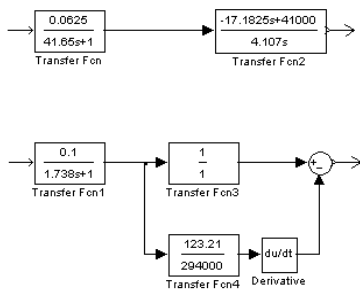
$$H_{21}(s) = \frac{41000}{294000}, H_{22}(s) = 1$$

Sehingga fungsi alih decoupler dapat ditentukan dari persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 yaitu:

$$D_{12}(s) = -\frac{H_{12}(s)}{H_{11}(s)} = -0,003s,$$

$$D_{21}(s) = -\frac{H_{21}(s)}{H_{22}(s)} = -0,14$$

Diagram blok boiler setelah disederhanakan menjadi:



Gambar 3.3. Diagram blok boiler SISO ekivalen dengan decoupler

D. Penentuan Parameter PID

Untuk mendapatkan nilai-nilai dari parameter kontroler, harus ditentukan dahulu spesifikasi desain sistem yang diinginkan sehingga nilai pole simpul tertutup (dimisalkan = s_1) yang berkesesuaian dapat dicari. Nilai pole tersebut dimasukkan pada persamaan

2.11 sehingga didapatkan parameter K_p , K_i , dan K_d . Karena kontroler PID menambah orde sistem, maka perlu diperiksa timbulnya pole-pole baru yang memungkinkan terjadinya ketidakstabilan sistem. Nilai parameter kontroler yang tidak menimbulkan ketidakstabilan sistem kemudian disimulasikan dengan MATLAB untuk diamati performansinya.

1) Sistem Pengendalian Suhu

Sesuai dengan penelitian sebelumnya, diharapkan bahwa sistem *overdamped* dan mencapai keadaan mantap setelah 30 detik dengan *setpoint* 170⁰C. Dengan menganggap bahwa keadaan mantap terjadi setelah 5 kali konstanta waktu ($e_{ss} = 0,7\%$), didapat $T = 30/5 = 6$ detik. Nilai pole yang berkesesuaian adalah $s_1 = -1/T = -1/6 = -0,1667$. Dengan memasukkan nilai s_1 pada persamaan 2.11 dan memvariasikan nilai K_i dan K_d , didapat:

No	K_p	K_i	K_d	pole1	pole2	pole3
1	-0,0198	0	0	0	-0,1447	0,1444
2	-0,0138	0,001	0	-0,1447	0,0713+j0,0459	0,0713-j0,0459
3	0,0402	0,01	0	0,0713+j0,2585	0,0713-j0,2585	-0,1447
4	0,5802	0,1	0	0,0715+j0,845	0,0715-j0,845	-0,1447
5	0,0435	0	0,5	0	-0,4547	-0,1447
6	0,0495	0,001	0,5	-0,4403	-0,1447	-0,0143
7	0,1235	0,01	0,5	-0,2283+j0,1407	-0,2283-j0,1407	-0,1447
8	0,4435	0,1	0,5	-0,2283+j0,8148	-0,2283-j0,8148	-0,1447
9	0,1448	0	1	0	-1,0543	-0,1447
10	0,1528	0,001	1	-1,0495	-0,1447	-0,0049
11	0,2048	0,01	1	-0,9831	-0,1447	-0,0732
12	0,7448	0,1	1	-0,528+j0,4438	-0,528-j0,4438	-0,1447
13	0,2302	0	1,5	0	-1,4543	-0,1447
14	0,2342	0,001	1,5	-1,4519	-0,1447	-0,0044
15	0,2902	0,01	1,5	-1,4214	-0,1447	-0,0447
16	0,8302	0,1	1,5	-0,828+j0,1844	-0,828-j0,1844	-0,1447

Tabel 4.1. Parameter pengendalian suhu

Dari table 4.1 dapat dilihat bahwa sistem tidak stabil pada saat ada pole yang terletak di sebelah kanan bidang s pada nomer 1, 2, 3, dan 4. Sedangkan nomer 7, 8, 12, dan 16 tidak memenuhi spesifikasi desain sistem karena ada pole yang mengandung unsur imajiner (*underdamped*). Kemudian, parameter yang memenuhi spesifikasi disimulasikan untuk dilihat performansi masing-masing yang hasilnya tampak pada tabel berikut.

Parameter ke-	Error steady state	Settling time (detik)	max overshoot (%)
5	0	30,8	0
6	0	20,4	0
9	0	24	0
10	0	13	0
11	0	12,9	0
13	0	21,1	0
14	0	9,47	0
15	0	10,4	0

Tabel 4.2. Performansi pengendalian suhu

Dengan memperhatikan table 4.2, dipilih nilai parameter ke-6 karena mempunyai *settling time* yang masih memenuhi spesifikasi desain.

2) Sistem Pengendalian Ketinggian

Pada sistem pengendalian ketinggian, diinginkan keadaan mantap tercapai dalam waktu 10 detik dengan *setpoint* 1,1meter, sehingga didapat konstanta waktu $T = 10/5 = 2$ detik atau pole pada $s_1 = -1/2 = -0,5$. Dengan memasukkan nilai s_1 pada persamaan 2.11 dan

memvariasikan nilai K_i dan K_d , didapat:

No	K_p	K_i	K_d	pole1	pole2	pole3
1	-0,2044	0	0	0	-0,5	
2	-0,1884	0,01	0	-0,5	-0,0074	
3	-0,0044	0,1	0	-0,5	-0,0734	
4	1,7954	1	0	-0,7347	-0,5	
5	-0,1794	0	0,05	131990	0	-0,5
6	-0,1594	0,01	0,05	131990	0	-0,5
7	0,0204	0,1	0,05	131990	0	-0,5
8	1,8204	1	0,05	131990	0	-0,5
9	0,0454	0	0,5	15344	0	-0,5
10	0,0454	0,01	0,5	15344	0	-0,5
11	0,2454	0,1	0,5	15344	0	-0,5
12	2,0454	1	0,5	15343	0	-0,5
13	2,2954	0	5	3482,2	0	-0,5
14	2,3154	0,01	5	3482,2	0	-0,5
15	2,4954	0,1	5	3482,2	0	-0,5
16	4,2954	1	5	3482,1	-0,3	-0,5

Tabel 4.3. Parameter pengendalian ketinggian

Dari table 4.3 dapat dilihat bahwa sistem stabil pada saat tidak ada pole yang terletak di sebelah kanan bidang s pada nomer 1, 2, 3, dan 4, tetapi yang memenuhi spesifikasi desain hanyalah parameter ke-4 karena penguatan parameter ke-1, 2, dan 3 bernilai negatif. Performansi sistem tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

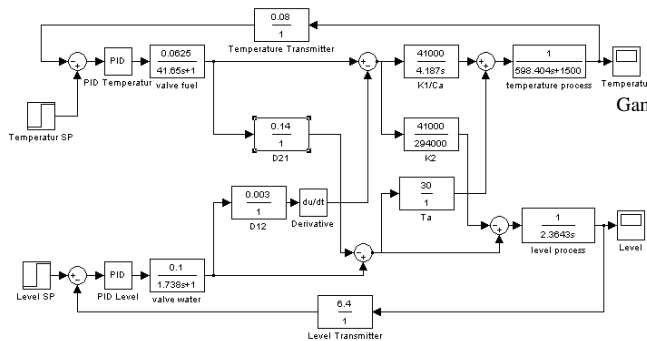
parameter ke.	error steady state	settling time (detik)	max overshoot (%)
4		0,1	6,32

Tabel 4.4. Performansi pengendalian ketinggian

III. IV. PENGUJIAN DAN SIMULASI

A. Blok Diagram Sistem Pengendalian

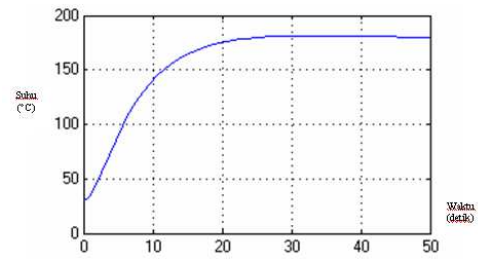
Setelah parameter kontroler PID untuk sistem pengendalian suhu dan ketinggian didapatkan kontroler diujikan ke dalam sistem seperti pada blok diagram berikut:



Gambar 4.1. Blok diagram sistem pengendalian

B. Respon Sistem Pengendalian Suhu

Sesuai dengan table 4.1 dan 4.2, didapatkan parameter kontroler PID yaitu $K_p = 0,0695$; $K_i = 0,001$; $K_d = 0,5$. Setelah disimulasikan, didapat respon



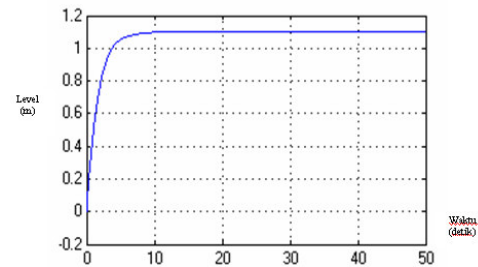
Gambar 4.2. Respon suhu pada sistem pengendalian suhu

C. 4.3. Respon Sistem Pengendalian Ketinggian

Sesuai dengan table 4.3 dan 4.4, didapatkan parameter kontroler PID yaitu

$K_p = 1,7954$; $K_i = 1$; $K_d = 0$.

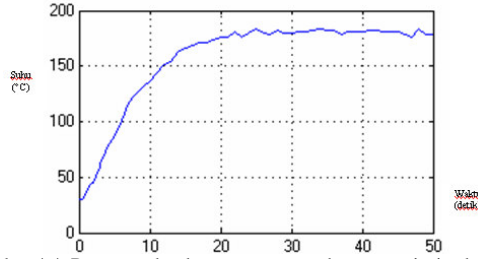
Setelah disimulasikan, didapat respon sebagai berikut



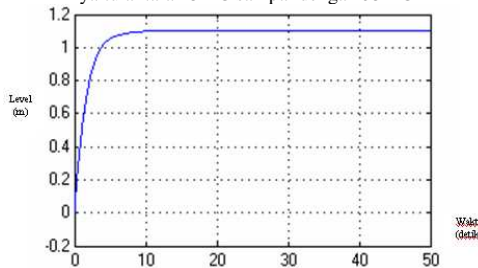
Gambar 4.3. Respon level pada sistem pengendalian ketinggian

D. Respon Sistem dengan Gangguan

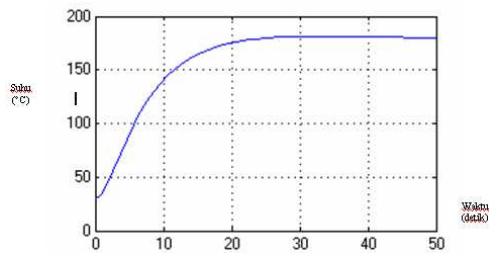
Dengan gangguan berupa variasi suhu awal yaitu antara 25°C sampai dengan 35°C, didapat respon sistem pengendalian sebagai berikut



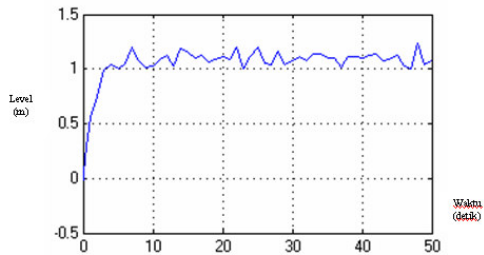
Gambar 4.4. Respon suhu dengan gangguan berupa variasi suhu awal yaitu antara 25°C sampai dengan 35°C



Gambar 4.5. Respon level dengan gangguan berupa variasi suhu awal yaitu antara 25°C sampai dengan 35°C. Sedangkan untuk gangguan berupa variasi perubahan level antara -0.1m sampai dengan 0.1m, didapat respon sistem pengendalian sebagai berikut



Gambar 4.6. Respon suhu pada sistem pengendalian dengan gangguan berupa variasi perubahan level antara -0.1m sampai dengan 0.1m



Gambar 4.7. Respon level pada sistem pengendalian dengan gangguan berupa variasi perubahan level antara -0.1m sampai dengan 0.1m

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan kontroler PID mampu memberikan performansi yang bagus pada sistem pengendalian setelah diberi *decoupler*. Hal itu dapat dibuktikan dengan melihat spesifikasi respon sistem pengendalian pada tabel 4.2 dan 4.4 maupun pada gambar 4.2 dan 4.3 karena sudah sesuai dengan spesifikasi desain kontrol yang diinginkan yaitu waktu menetap sebesar 30 detik dan respon *overdamp* pada pengaturan suhu dan waktu menetap sebesar 10 detik pada pengaturan ketinggian.
2. Dengan adanya *decoupler*, gangguan pada sistem pengendalian suhu tidak mempengaruhi ketinggian demikian pula sebaliknya. Hal ini dapat dilihat dari gambar 4.4 sampai dengan 4.7. Kesalahan keadaan mantap pada respon suhu adalah sebesar 6% sedangkan pada respon ketinggian adalah sebesar 9%.

B. 5.2.Saran

1. Perlu adanya pemikiran lebih lanjut untuk menentukan parameter kontroler PID yang sesuai mengingat adanya keterbatasan fisik pada sistem yang sesungguhnya.
2. Dengan banyaknya perhitungan matematis yang ada pada metode root locus sehingga memakan waktu yang lama, disarankan beberapa metode penalaan yang lain agar dapat menghemat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ogata, Katsuhiko, "Teknik Kontrol Automatik", Penerbit Erlangga, 1996.
- [2] Luyban, W.L., "Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers", Eglewood Cliffs, 1985.
- [3] Philips, Charles, "Dasar-dasar Sistem Kontrol", PT Prehanlindo, 1996.
- [4] Choughanowr, Donald, "Process System Analysis and Control", Prentice-Hall, 1985.
- [5] Holman, J.P., "Thermodynamics", McGraw-Hill, 1992.
- [6] Kurniawan, Ivan Budiarto, "Penerapan Kendali Optimal dengan metode LQG pada boiler di PT Camarin Eka Laksana Singosari Malang", skripsi: Brawijaya Malang, 2005.