

DESAIN SISTEM KONTROL TEMPERATUR UNTUK TIPE PEMANAS DENGAN RESISTANSI RENDAH

Agus B. Jatmika^{*}, D.J.Djoko H.S.

Program Studi Magister Fisika, Universitas Brawijaya Malang 65145

*E-Mail: abjat68@gmail.com

ABSTRAK

Telah didesain sistem kontrol temperatur untuk tipe pemanas dengan resistansi rendah (10 m Ω). Kontrol pemanasan dilakukan dengan menggunakan transformator untuk menghasilkan tegangan pangkal yang rendah dan arus tinggi, sedangkan algoritma sistem kontrol dikembangkan berdasarkan metode *tuning* PID Ziegler-Nichols. Faktor koreksi untuk parameter PID dari hasil metode Ziegler-Nichols digunakan untuk mereduksi nilai *overshoot* akibat laju pemanasan yang lebih cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja pada tiap nilai *set point* temperatur yang diberikan meliputi 150, 160, 170, 180, 190 dan 200 °C dengan waktu respon sekitar 150 detik dan rata-rata standar deviasi sekitar 0,61 %. Sedangkan hasil pengujian sistem terhadap gangguan menunjukkan bahwa waktu relaksasi yang dibutuhkan sistem untuk menjadi stabil berlangsung sekitar 30 detik.

Kata kunci: Pemanas Resistansi Rendah; Kontrol Temperatur; Transformator; PID Ziegler-Nichols.

ABSTRACT

The temperature control system for the low resistance heater(10 m Ω) was designed. The heating control was operated using transformer to produce the low base voltage and high current. In addition, the control system algorithm was developed based on PID Ziegler-Nichols tuning method. The correction factor for PID parameter of the Ziegler-Nichols method results was used to reduce the overshoot value due to the faster heating rates. It showed that the designed system can work properly on any given set point of temperature (150, 160, 170, 180, 190 and 200 °C) under the response time (150 seconds) and the average of standard deviation (0.61%). Moreover the interferences test toward the control system showed time relaxation (approx. 30second) of the control system to attain stable condition.

Keywords: Heating Low Resistance; Temperature Control; Transformers; PID Ziegler-Nichols.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan komponen pemanas yang bekerja secara resistif dewasa ini semakin berkembang, hal ini terkait dengan kemudahan dalam pengaturan temperatur pemanasan. Faktor penting dalam pemanasan resistansi adalah faktor efisiensi, dimana daya maksimum pemanasan ditentukan oleh minimum resistansi yang harus digunakan.¹ Selain itu, besarnya arus dari sumber juga berpengaruh secara signifikan terhadap daya yang dihasilkan dan laju pemanasan.² Semakin besar daya pemanasan maka semakin besar pula nilai resistansi pemanas yang dibutuhkan, hal ini berdampak pada besarnya arus sumber yang dibutuhkan untuk komponen pemanas tersebut.

Pemanfaatan pemanas dengan resistansi rendah memiliki beberapa kelebihan diantaranya kebutuhan daya input yang relatif kecil dan laju pemanasan yang lebih cepat, namun tipe pemanas ini membutuhkan tegangan pangkal yang kecil dan gejala *overshoot*

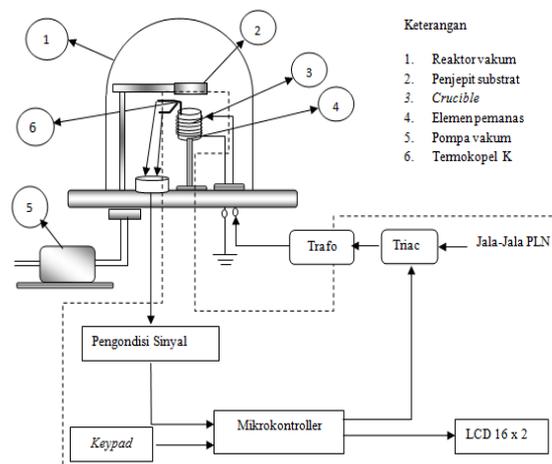
yang besar dalam sistem pengaturan.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan perancangan sistem untuk kontrol pemanas menunjukkan bahwa sebagian besar sistem kontrol yang dirancang menggunakan tipe pemanas dengan resistansi diatas 1Ω .³⁻⁴ Untuk tipe pemanas dengan resistansi rendah diperlukan suatu modifikasi dari sistem untuk membatasi tegangan pangkal pemanas agar tidak terjadi kerusakan maupun terjadinya hubungan singkat (*short circuit*) secara kelistrikan. Sedangkan gejala *overshoot* yang besar terjadi karenanya respon pemanasan dari elemen lebih cepat sehingga diperlukan nilai koreksi untuk parameter-parameter kontrol yang diberikan.

Jurnal ini terkait dengan desain sistem kontrol temperatur untuk tipe pemanas dengan resistansi rendah. Komponen pemanas yang digunakan berupa pemanas tungsten dengan resistansi sekitar $10 \text{ m}\Omega$, komponen tersebut digunakan sebagai pemanas deposasi pada evaporator vakum. Pengaturan daya pemanasan menggunakan komponen transformator untuk menghasilkan tegangan pangkal pemanas yang kecil namun arus yang besar, sedangkan sistem kontrol dikembangkan berdasarkan algoritma PID *Ziegler-Nichols* (ZNM) dengan menambahkan beberapa faktor koreksi untuk mengurangi gejala *overshoot* yang terjadi.

METODE PENELITIAN

Skematik dari pengujian sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, pemanas tungsten diletakkan dalam evaporator vakum untuk menghindari proses oksidasi yang dapat merusak komponen tersebut. Temperatur pemanasan diukur menggunakan sensor termokopel tipe-K dan ditampilkan dalam LCD 16 x 2. Tekanan dalam sistem vakum diatur pada keadaan tunak (sekitar 400 mTorr) dengan cara memindahkan udara dari dalam evaporator vakum menggunakan pompa vakum jenis rotari.



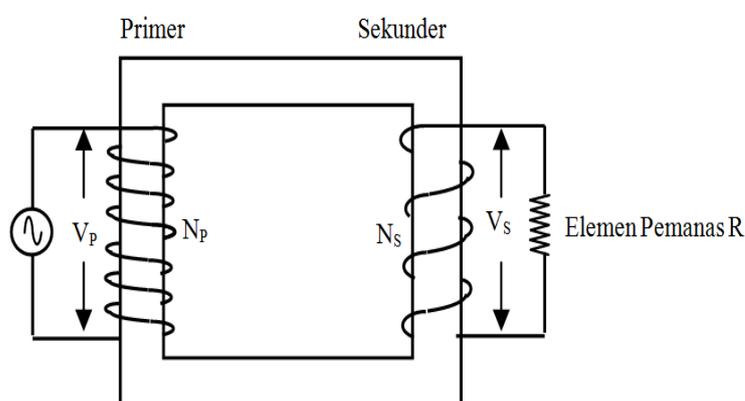
Gambar 1. Skematik pengujian sistem kontrol pemanas pada evaporator vakum.

A. Desain pengaturan daya

Pengaturan daya untuk elemen pemanas dilakukan dengan memanfaatkan komponen transformator *step down* (Gambar 2) dengan perbandingan lilitan 220 : 1, kapasitas daya dari transformator sebesar 20 watt dengan perkiraan temperatur maksimum yang mampu dihasilkan sebesar 200°C .

Bagian primer dari trafo terhubung dengan tegangan AC 220 V dan komponen TRIAC, sedangkan bagian sekundernya terhubung secara langsung dengan pemanas tungsten, sisi sekunder dari trafo memiliki karakteristik berupa tegangan rendah (1V) dan arus keluaran yang relatif besar sekitar 20 A.

Pengaturan daya pemanasan sesuai dengan algoritma PID yang diimplementasikan dalam bentuk sinyal PWM, sinyal ini difungsikan untuk menjalankan komponen TRIAC ketika keadaan *zero voltage* pada tegangan AC dicapai. Ketika TRIAC diaktifkan, terjadi keadaan konduksi yang menyebabkan arus dapat mengalir pada sisi primer dari trafo dan menimbulkan ggl induksi pada trafo. Besarnya tegangan pada sisi sekunder akibat adanya peristiwa induksi sebanding dengan nilai tegangan pada sisi primernya, semakin lama komponen TRIAC diaktifkan maka tegangan sekunder yang dihasilkan juga semakin besar, jika besarnya arus yang mengalir pada komponen pemanas bergantung pada tegangan pangkal dan resistifitas dari komponen tersebut maka besarnya daya yang terdisipasi dapat ditentukan berdasarkan lamanya waktu aktif dari komponen TRIAC.

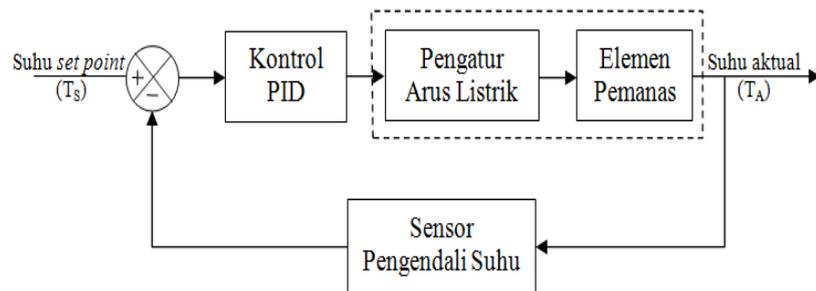


Gambar 2. Kontruksi dari komponen trafo.

Efektifitas proses pengontrolan tegangan AC dapat dicapai ketika pada awal pengontrolan tegangan dalam kondisi *zero voltage*, hal ini terkait dengan rata-rata daya yang dapat dikontrol. Dengan memanfaatkan rangkaian *zero crossing detector* maka kondisi *zero voltage* dari tegangan AC dapat diketahui, kemudian tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing* dipakai untuk memicu mikrokontroler agar menghasilkan sinyal PWM bagi komponen TRIAC.

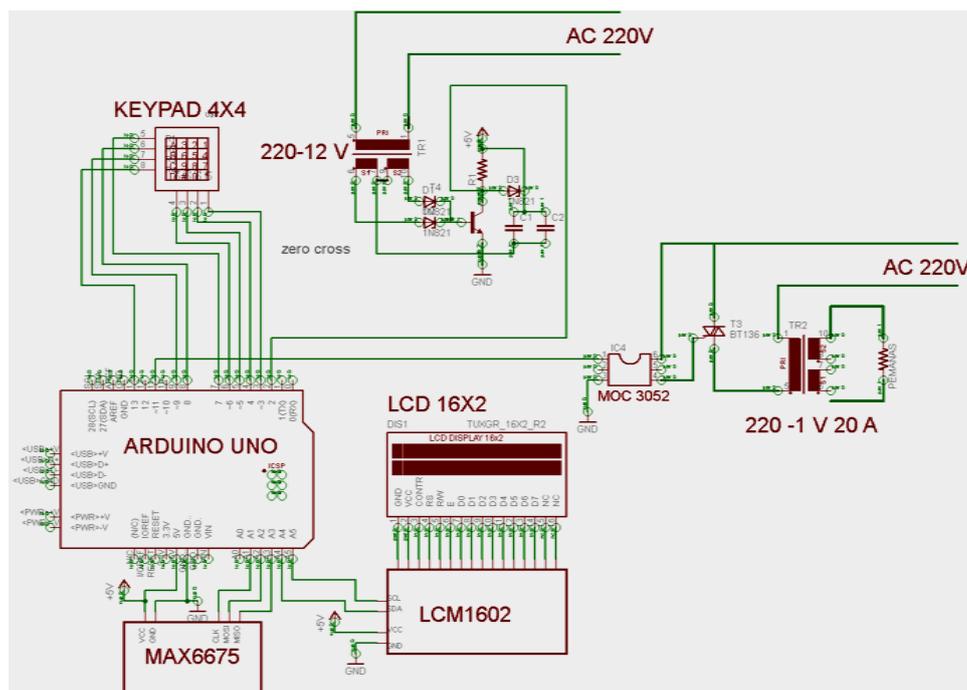
B. Desain sistem kontrol temperatur PID

Sistem kontrol pemanas resistansi rendah dirancang dengan mekanisme menggunakan sistem kontrol *loop* tertutup dengan umpan balik sensor termokopel tipe K (Gambar 3), mekanisme pengontrolan temperatur pemanasan dilakukan dengan mengatur banyaknya energi listrik yang dialirkan ke pemanas tungsten berdasarkan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*). Apabila suhu aktual (T_A) pemanasan berbeda dengan suhu *set point* (T_s) maka selisih antara T_A dengan T_s sebagai nilai *error* dari sistem kontrol, selanjutnya nilai *error* tersebut dikonversi kedalam bentuk lebar pulsa PWM. Lebar pulsa PWM ditentukan lewat perhitungan PID dengan metode ZNM berdasarkan nilai *error* dan parameter-parameter PID seperti K_p , K_i dan K_d yang diberikan. Selanjutnya, sinyal PWM difungsikan untuk mengontrol *Plant* berupa komponen TRIAC, trafo dan elemen pemanas.



Gambar 3. Diagram blok sistem kontrol pemanas resistansi rendah.

Termokopel tipe-K bekerja berdasarkan koefisien dari Seebeck dengan tegangan keluaran sekitar $41 \mu\text{V}$ per derajat kenaikan temperatur. Disamping itu, sensor termokopel tipe-K juga memerlukan kompensasi titik beku sebagai referensi dari temperatur terendahnya. Oleh karenanya, pada penelitian ini IC MAX 6675 (Maxim Inc.) dimanfaatkan sebagai pengolah sinyal termokopel tipe-K, keluaran dari IC tersebut berupa data digital yang dapat langsung dibaca oleh mikrokontroler melalui komunikasi I²C.⁵ Kalibrasi pembacaan sensor termokopel tipe-K dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor oleh mikrokontroler dengan nilai yang ditampilkan oleh termometer digital HH11B, hasil kalibrasi menunjukkan bahwa selisih pembacaan antara mikrokontroler dan termometer sekitar $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$.



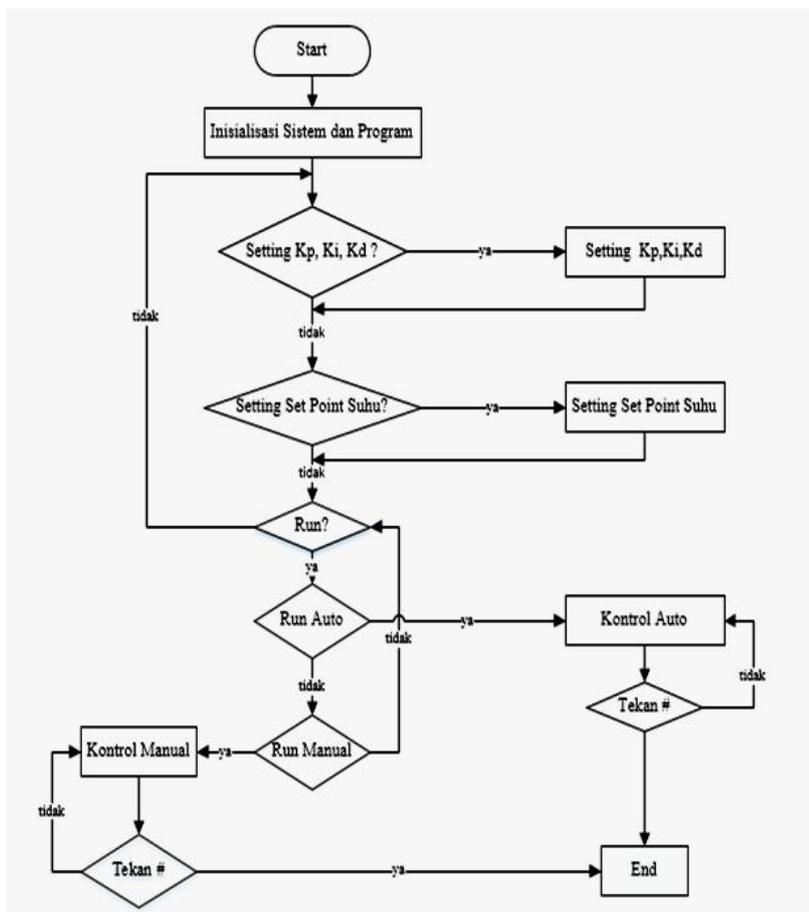
Gambar 4. Skematik rangkaian dari sistem kontrol pemanas

Lebar pulsa PWM ditentukan menurut perhitungan PID ZNM, sesuai dengan persamaan berikut:

$$D(\%) = TD * \left(K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \right) \quad (1)$$

dimana nilai D merupakan *Duty Cycle* PWM, TD merupakan faktor skala untuk mengkonversi nilai PID menjadi nilai integer antara 0 hingga 255. Sedangkan konstanta K_p , K_i dan K_d

merupakan parameter PID yang didapatkan dari proses *tuning* berdasarkan metode *Ziegler-Nichols* (ZNM). Implementasi kontrol PID ke dalam bahasa program mikrokontroler sebagaimana diilustrasikan dalam bentuk *flowchart* (Gambar 5). Ketika tegangan keluaran dari rangkaian *zero crossing* bernilai 1 maka program akan mengaktifkan komponen TRIAC melalui pulsa PWM yang dibangkitkan, kondisi ini terjadi untuk tiap siklus dari sinyal AC yang dikontrol baik saat bernilai positif maupun negatif. Program kontrol dapat di atur secara manual maupun otomatis. Untuk program manual, program ini digunakan untuk proses *tuning* PID, sedangkan program otomatis dibuat untuk proses pemanasan berdasarkan algoritma PID.



Gambar 5. Flowchart program kontrol pemanas.

Metode *tuning* PID *Ziegler-Nichols* diturunkan berdasarkan data eksperimen sehingga diperlukan faktor koreksi terhadap nilai K_p , K_i dan K_d agar didapatkan sistem kontrol yang lebih stabil (6). Faktor koreksi juga dimaksud untuk mengurangi nilai *overshoot* dari sistem kontrol, hal ini terjadi karena respon pemanasan untuk tipe pemanas resistansi rendah lebih cepat dibandingkan jenis pemanas yang lain. Oleh karenanya, ketika sistem telah mencapai keadaan *set point*, nilai parameter K_p dikurangi untuk menghindari kondisi *overshoot*, besarnya K_p aktual dapat dituliskan dalam bentuk persamaan menjadi $K_{p(aktual)} = K_{p(sebelum)} - 1$.

C. Teknik Analisis Data

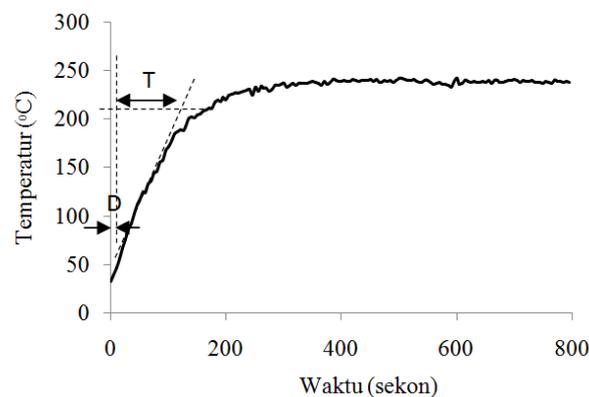
Dari pengujian respon alat tanpa umpan balik akan didapatkan grafik respon suhu. Dengan metode *Ziegler-Nichols* grafik respon suhu terhadap waktu dianalisa untuk mendapatkan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d yang menjadi dasar perhitungan algoritma PID.

Dari pengujian respon alat menggunakan algoritma PID yang sudah ditambahkan faktor koreksi parameter K_p dan K_i akan didapatkan grafik respon suhu terhadap waktu. Pengujian ini menggunakan SP 150, 160, 170, 180, 190, dan 200⁰C. Dari pengujian ini akan diperoleh data respon sistem tiap SP dan data nilai standar deviasi untuk tiap SP.

Dari pengujian respon alat terhadap perubahan gangguan berupa kenaikan tekanan ruang vakum diperoleh data lamanya sistem alat untuk kembali ke keadaan stabil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan nilai dari K_p , K_i dan K_d , secara eksperimen dapat dilakukan melalui pengujian sistem *loop* terbuka. Dari hasil pengujian sistem *loop* terbuka didapatkan grafik respon sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, dimana parameter K_p , K_i dan K_d dapat diturunkan sesuai dengan metode ZNM.



Gambar 6. Respon sistem *loop* terbuka.

Dari kurva pengujian *loop* terbuka sebagaimana ditunjukkan Gambar 6, diperoleh nilai $D = 5$ s dan nilai $T = 115$ s. Sesuai dengan metode PID ZNM (7), besarnya konstanta K_p , K_i dan K_d dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

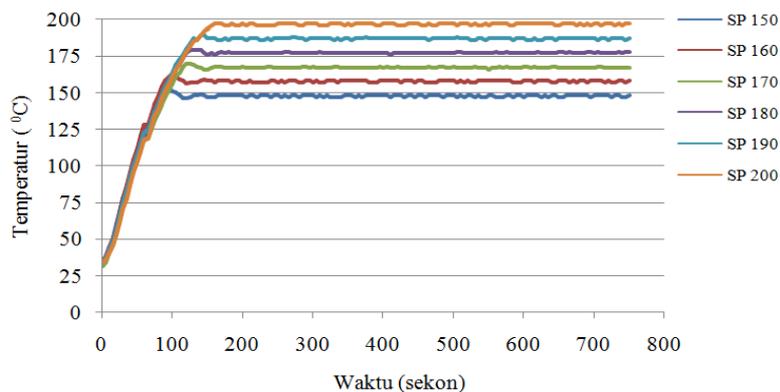
$$K_p = \frac{1,2T}{D} \approx 28 \quad (2)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T} \approx 3 \quad (3)$$

$$K_d = K_p * T \approx 69 \quad (4)$$

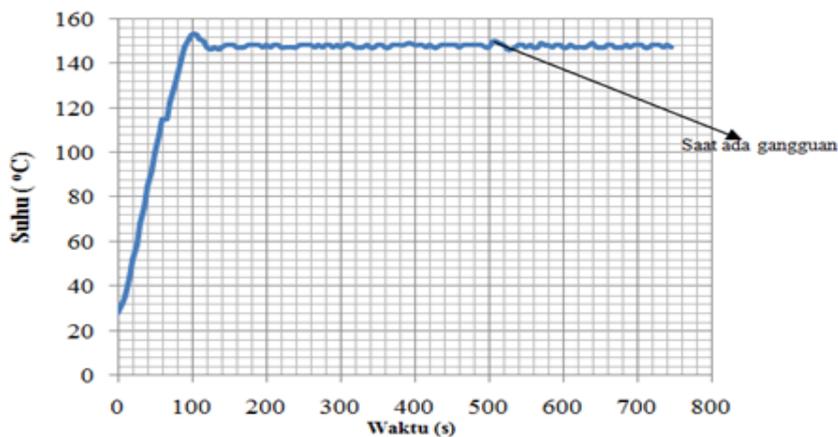
Setelah nilai parameter PID didapatkan maka pengujian selanjutnya adalah pengujian *loop* tertutup, sistem diuji untuk berbagai nilai SP meliputi temperatur 150, 160, 170, 180, 190 dan 200⁰C. Besarnya nilai SP dipilih berdasarkan kemampuan dari trafo yang dirancang. Sebagaimana terlihat pada Gambar 7, menunjukkan bahwa sistem kontrol yang dirancang mampu bekerja untuk mengatur temperatur pemanasan *crucible* pada evaporator vakum sesuai dengan nilai SP yang diberikan. Hasil kontrol temperatur menunjukkan bahwa ketika keadaan SP dicapai, sistem akan mengalami osilasi yang relatif kecil dengan nilai standar deviasi rata-rata untuk semua nilai SP sebesar 0.61%. Adanya faktor koreksi untuk nilai K_p mengakibatkan besarnya *overshoot* dari sistem dapat direduksi, tetapi efek lain yang muncul bahwa nilai temperatur yang sama dengan nilai SP akan sulit dicapai mengingat adanya faktor pengurangan dari nilai K_p yang diberikan. Keadaan tunak dari sistem dapat dicapai dalam

waktu yang relatif singkat sekitar 150 sekon, hal ini terjadi karena adanya faktor respon yang cepat dari komponen pemanas yang digunakan. Pemanas dengan resistansi yang rendah cenderung memiliki respon pemanasan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan pemanas dengan tingkat resistansi yang lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik respon sistem *loop* tertutup sebagai fungsi waktu.

Pengujian sistem terhadap gangguan dimaksudkan untuk menguji tingkat kestabilan dari sistem. Faktor gangguan diberikan dengan menaikkan tekanan evaporator, dengan menaikkan tekanan evaporator diharapkan temperatur pemanasan akan naik akibat adanya kenaikan densitas dari partikel dalam ruang evaporator vakum. Akan tetapi, berdasarkan data hasil pengujian sistem terhadap gangguan menunjukkan bahwa kenaikan temperatur tidak berlangsung lama dikarenakan respon pemanasan dari sistem bekerja lebih cepat dan adanya faktor koreksi untuk nilai PID yang diberikan (Gambar 8). Sehingga dari hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa sistem yang dirancang mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi dan waktu respon yang lebih cepat.



Gambar 8. Grafik respon sistem terhadap gangguan.

Gambar 8 memperlihatkan bahwa ketika pompa vakum dimatikan, dimana terjadi kenaikan tekanan dalam evaporator vakum, temperatur pemanas naik seiring dengan naiknya tekanan (terjadi kenaikan temperatur pemanas sebesar 3⁰C), namun setelah terjadi kenaikan temperatur sistem merespon dengan dengan mengubah parameter PID sebagaimana ketika terjadi pada kondisi *overshoot*, dengan adanya faktor koreksi tersebut maka respon sistem terhadap gangguan menjadi lebih cepat (sekitar 30 sekon).

KESIMPULAN

Dari data dan pembahasan sebagaimana yang telah didiskusikan dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol temperatur untuk tipe pemanas dengan resistansi rendah yang dirancang mampu bekerja dengan untuk berbagai nilai *set point* yang diberikan, sistem dapat digunakan sebagai kontrol temperatur dengan mekanisme pengaturan daya menggunakan komponen trafo agar diperoleh tegangan pangkal pemanas yang kecil dan arus pada sisi sekunder yang besar. Untuk mengurangi *overshoot* akibat respon pemanasan yang cepat dari elemen pemanas digunakan faktor koreksi untuk nilai K_p dari parameter PID yang didapatkan dengan metode *Ziegler-Nichols* (MZN). Temperatur maksimum dari sistem yang dirancang dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kapasitas daya dari trafo yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Yayasan Santa Maria Malang yang sudah memberikan bantuan dana untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Karbasian, H., A.E. Tekkaya. A review hot stamping. *Journal of Material Processing Tech.* 2010;210:2106.
2. Wang, S. et al. Resistance heating using electrically conductive cement. *Advanced in Cement Research.* 2004;16:161.
3. Rendon, G. et al. A simple substrate heater device with temperature controller for thin film preparation. *Journal of Applied Research and Tech.* 2012;10:552.
4. Ocaya, R.O., Mbongo, M.. A small-plant PID temperature controller for thermo luminescence measurement. *Pointe-Aux-Piments.* 2013;6:883-6
5. *Max 6675 datasheet*, maxim integrated product Inc., USA. <http://www.maximintegrated.com/MAX6675.pdf>
6. Shamsuzzoha, M., Sirgurd Skogestad . The set point overshoot method: a simple and fast closed-loop approach for pid tuning. *Journal of Process control.* 2010;20:1220-1222.
7. Ogata, K. Teknik kontrol otomatis [E. Laksono,trans]. Jilid 1. Jakarta: Erlangga; 1991.