

KONTROL SUHU DAN ANALISIS TRANSFER PANAS KONVEKSI PADA *CENTRAL PROCESSING UNIT (CPU)*

TEMPERATURE CONTROL AND ANALYSIS OF CONVECTION HEAT TRANSFER IN THE *CENTRAL PROCESSING UNIT (CPU)*

Nina Retna Utami¹, IP Handayani², Reza Fauzi Iskandar³
Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ninaretna@students.telkomuniversitrv.ac.id, ²iphandayani@telkomuniveristv.ac.id,
³rezafauzi@telkomuniveristy.ac.id

Abstrak

Central Processing Unit (CPU) merupakan tempat pemrosesan instruksi – instruksi program dilakukan. Suhu *CPU* dapat menjadi cepat panas bila digunakan dalam jangka waktu lama serta penggunaan dalam keadaan *full load* yang melibatkan beberapa komponen antara lain *processor*, *memory*, dan *VGA*. Suhu maksimum yang dimiliki *processor* atau biasa disebut *critical temperatures* dan *CPU utilization* yang menggambarkan kinerja *processor* dapat dijadikan acuan seberapa optimal *processor* bekerja. Salah satu cara untuk menurunkan suhu *processor* adalah dengan menambahkan *heat sink* dan kipas di daerah sekitar *processor*. Energi panas dari *processor* ditransferkan melalui *heat sink* dengan cara absorpsi, proses transfer panas konduksi dan konveksi. Pada penelitian ini, proses konveksi paksa dari *heat sink* ke udara lingkungan akan dibantu menggunakan kipas yang kecepatannya diatur dengan menggunakan kontrol Proporsional, kontrol Integral, dan kontrol Derivatif (PID). Nilai awal parameter kontrol PID ditentukan dengan menggunakan metode kurva Ziegler Nichols dan simulasi menggunakan *software MATLAB*. Selanjutnya, nilai tersebut diimplementasikan secara eksperimen pada sistem *Processor Intel® Pentium® 4 CPU 3.00 GHz*. Selain itu, distribusi suhu juga disimulasikan dan dianalisis dengan menggunakan *software Comsol Multiphysics 4.4*. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa suhu dapat mencapai kestabilan lebih cepat pada saat diaplikasikan kontrol PID dengan nilai parameter $K_p = 40$, $K_i = 33.33$, $K_d = 4$, suhu stabil 324 K tercapai dalam waktu 500 s. Sedangkan tanpa kontrol PID suhu stabil pada 326 K tercapai dalam waktu 3000 s.

Kata kunci: transfer panas, konveksi paksa, kontrol PID.

Abstract

Central Processing Unit (CPU) is a unit where instructions are being processed. *CPU* might reach high temperature when it is used in very long term, and the full state of *CPU* involving several components such as *processor*, *memory*, and *VGA* is loaded simultaneously. The maximum temperature or so-called *critical temperatures* and *CPU utilization* describing the performance of the *processor* can be used as a reference for analyzing the optimum work of *CPU*. A *heat sink* and fan are usually applied around the *processor* in order to distribute heat via absorption, conduction, and convection heat transfer. In this study, a force convection process in *CPU* will be controlled using Proportional control, Integral control, and Derivative control (PID). We tune initial PID control parameters using Ziegler Nichols curve as well as simulate the PID control effect using *MATLAB* software. The initial results are further implemented experimentally on *Processor Intel® Pentium® 4 CPU 3.00 GHz*. Further, the temperature distribution is modeled and analyzed using *Comsol Multiphysics 4.4* software. The temperature stability is observed to be more quickly achieved when the PID control is applied with parameter values of $K_p = 40$, $K_i = 33.33$, $K_d = 4$. A stable temperature 324 K is reached within 500 s. On the other hand, the temperature is stabilized at 326 K within 3000 when the *CPU* is run without PID control.

Keywords: heat transfer, force convection, PID control.

1. Pendahuluan

Central Processing Unit (CPU) merupakan komponen terpenting pada komputer di mana pemrosesan instruksi – instruksi program dilakukan. *CPU* dapat menjadi cepat panas bila digunakan dalam jangka waktu yang lama serta penggunaan dalam keadaan *full load* dari komponen – komponen *CPU*. *Processor* memiliki batas suhu maksimum 343 K. Agar proses distribusi panas berlangsung dengan efektif, ukuran *heat sink*, bahan pembuat *heat sink*, dan kecepatan kipas perlu dikontrol [1]. Bentuk kontrol yang biasa dilakukan untuk mencapai *set point* suhu yang diinginkan adalah kontrol Proporsional, kontrol Integral, kontrol Derivatif, atau gabungan dari beberapa kontrol tersebut. Pada saat ini kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) telah diaplikasikan untuk mengontrol

kecepatan kipas pada pendinginan dan optimasi kontrol panas di CPU [2]. Meskipun telah diaplikasikan, namun informasi mengenai analisis panas dan kinerja CPU masih jarang ditemukan. Selain itu, kemampuan kipas dan heat sink dalam proses pendinginan juga mengalami penurunan seiring berjalannya waktu. Hal ini menyebabkan turunnya fungsi kerja CPU [3].

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis penyerapan dan pendistribusian panas pada processor untuk memahami mekanisme proses transfer panas serta memahami kemungkinan pengoptimalan proses ini pada komputer yang berusia lebih dari tujuh tahun. Setelah itu dilakukan analisis pengaruh kontrol Proporsional, kontrol Integral dan kontrol Derivatif pada kipas dalam proses pendinginan CPU serta kinerja CPU saat terjadi kenaikan suhu, karena adanya waktu jeda pembacaan suhu pada sensor saat terjadi kenaikan suhu dan pengaruhnya pada kinerja CPU [4]. Proses analisis akan dilakukan dengan memodelkan data penelitian dengan software Comsol Multiphysics 4.4.

2. Dasar Teori

2.1 Gambaran Umum Proses Absorpsi, Konduksi dan Konveksi Panas

Aliran energi panas selalu terjadi dari medium dengan suhu yang lebih tinggi menuju medium dengan suhu yang lebih rendah dan akan berhenti ketika kedua medium mencapai suhu yang sama. Panas dapat ditransferkan dalam beberapa cara, diantaranya : konduksi dan konveksi. Proses absorpsi dan transfer panas dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut [5]

$$Q = \rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} + kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta r} + hA_s(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

dengan Q merupakan laju transfer panas secara keseluruhan, $\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$ adalah proses absorpsi panas, Cp adalah kalor jenis bahan, $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ merupakan perubahan suhu terhadap waktu, dan m adalah massa dari bahan yang menyerap panas. $kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta r}$ adalah proses konduksi. Jika suhu pada ujung bahan T1 dan ujung yang lainnya T2, proses transfer panas akan dipengaruhi oleh perbedaan suhu ($\Delta T = T_1 - T_2$), ketebalan (Δr), dan luas area (A). $hA_s(T_s - T_\infty)$ adalah proses konveksi, di mana h adalah koefisien perpindahan panas konveksi dalam W/m².°C, As adalah luas permukaan di mana perpindahan panas konveksi terjadi, Ts adalah suhu permukaan dan T∞ suhu fluida yang cukup jauh dari permukaan.

Pada simulasi Comsol modul yang digunakan untuk mengamati proses transfer panas pada heat sink adalah Heat Transfer in Solids dengan perumusan proses penyebaran panas sebagai berikut

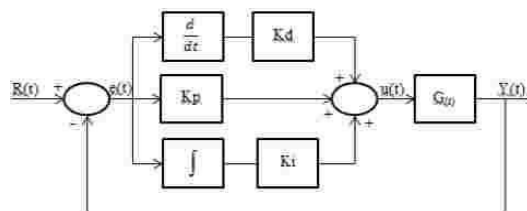
$$\rho \frac{\partial T}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (2)$$

di mana ρ adalah densitas fluida, Cp adalah kalor jenis bahan, T adalah suhu, t adalah waktu, v adalah vektor kecepatan aliran, k adalah konduktivitas termal bahan dan Q adalah sumber panas. Persamaan (2) menyatakan distribusi panas pada solid yang terbagi menjadi proses penyerapan panas yang berada pada ruas kiri dan konduksi yang berada pada ruas kanan. Selanjutnya proses konveksi pada permukaan heat sink ke lingkungan dirumuskan dengan persamaan berikut

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h(T_\infty - T) \quad (3)$$

di mana n adalah batas vektor normal dan h adalah koefisien konveksi, T∞ adalah suhu lingkungan dan T merupakan suhu .

2.2 Dasar – Dasar Kontrol PID



Gambar 1. Diagram Blok Kontrol PID

Pada gambar 1 diketahui bahwa keluaran dari kontrol PID adalah penjumlahan dari keluaran kontrol Proporsional, keluaran kontrol Integral, dan keluaran kontrol Derivatif seperti ditunjukkan pada persamaan berikut

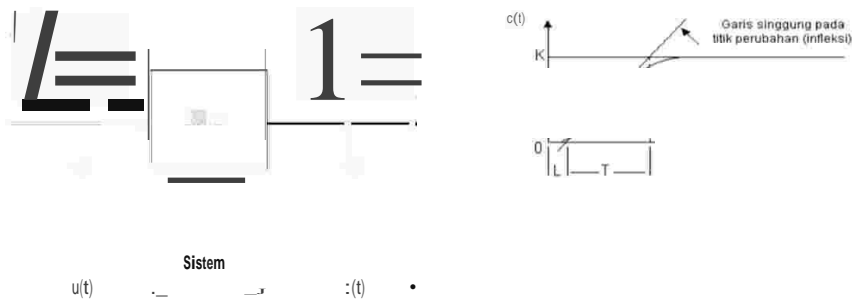
$$e(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

di mana K_p adalah gain proporsional, $K_i \int e(t) dt$ adalah gain integral, $K_d \frac{de(t)}{dt}$ adalah gain derivatif, e adalah nilai *error*, menghitung selisih antara suhu saat ini yang terbaca pada sensor suhu dan suhu yang diinginkan pada nilai set poin. Nilai *error* kemudian menjadi masukan pada kontrol PID. Pada kontrol PID konstanta K_p , menentukan besarnya perubahan akibat gain proporsional. Gain integral mengakumulasikan perbedaan antara *set point* dan keadaan saat ini dari waktu ke waktu. Konstanta K_i , menyatakan besarnya perubahan dari gain integral. Terakhir, gain derivatif, menyeimbangkan gain integral dengan mengurangi potensi terjadinya *overshoot*. Konstanta K_d menyatakan besarnya perubahan yang diberikan gain derivatif. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa gain proporsional bertanggung jawab untuk menyesuaikan nilai keluaran, gain integral bertanggung jawab untuk mempercepat atau memperlambat perubahan itu, dan gain derivatif bertanggung jawab untuk membatasi aksi dari gain integral saat mendekati nilai set poin agar tidak terjadi *overshoot*.

2.3 Metode Ziegler Nichols

Penalaan parameter kontrol PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu metode model matematik perilaku plant tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data berupa kurva keluaran, penalaan kontroler PID telah dapat dilakukan.

Metode kurva reaksi didasarkan terhadap reaksi sistem loop terbuka. *Plant* sebagai loop terbuka dikenai sinyal fungsi satuan ditunjukkan oleh gambar 2 (a). Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole – pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 2 (b) menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk menangani plant integrator maupun plant dengan pole kompleks [6].



Gambar 2. (a) Respon Sinyal Fungsi Satuan Sistem (b) Kurva Respon Berbentuk S [6]

Kurva berbentuk S memiliki dua konstanta, waktu mati (*dead time*) L dan waktu tunda T . Dari gambar 2 (b) terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 63% dari keadaan *steady*. Pada kurva dibuat suatu garis bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L [6]. Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Ziegler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , τ_i , dan τ_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 1 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi [6].

Tabel 1. Penalaan Parameter PID dengan Metode Kurva Reaksi

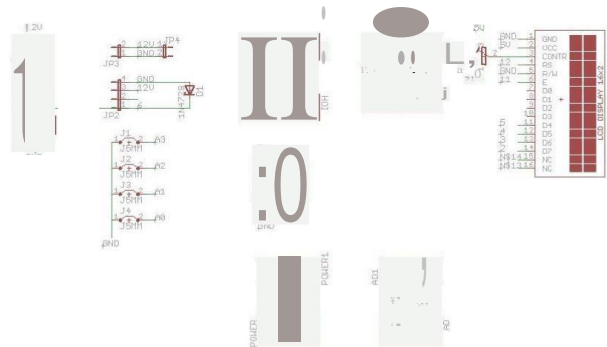
	P	PI	PID
K_p	T/L	$0.9 T/L$	$1.2T/L$
τ_i	\sim	$L/0.3$	$2L$
τ_d	0	0	$0.5L$

2.4 Rancangan dan Metode Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen sebenarnya, yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen. Dalam hal ini objek penelitian yang diamati adalah pengaruh kontrol Proporsional, kontrol Integral, dan kontrol Derivatif pada kipas terhadap lamanya waktu pendinginan *processor* dan pengaruhnya terhadap kinerja *processor* yang ditinjau melalui *CPU utilization*. Proses ini selanjutnya dianalisis dan disimulasikan dengan *Comsol Multiphysics 4.4* berdasarkan model transfer panas secara konveksi.

Rangkaian yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebuah rangkaian dari Arduino Uno sebagai mikrokontroler, IC LM35 sebagai sensor pembaca suhu, LCD untuk tampilan data, motor DC sebagai penggerak

pada kipas, dan rangkaian *driver* untuk menggerakkan kipas dengan *PWM*. Rancangan rangkaian ini dibuat dengan menggunakan *software Eagle*.



Gambar 3. Skematik Rangkaian Secara Keseluruhan



Gambar 4. (a) Arduino Uno dan LCD, (b) Rangkaian Driver

Parameter – parameter yang dibutuhkan untuk mensimulasikan proses distribusi panas pada heat sink ditunjukkan pada tabel 3 dan 4.

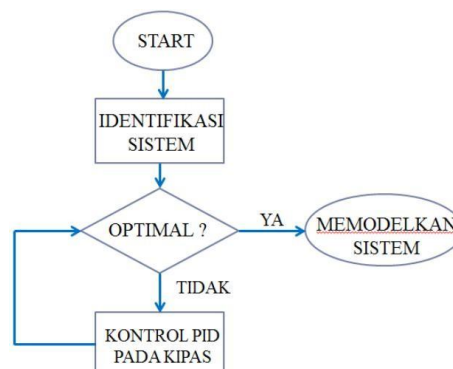
Tabel 3. Hasil Analisa CPU

Parameter	Nilai	Keterangan
T_{∞}	298 K	Suhu lingkungan
T_{max}	343 K	Suhu maksimum
Q	81.9 W	Daya yang digunakan

Tabel 4. Parameter Bahan pada Proses Konveksi Heat Sink

Material (Bahan)	k, W/m.K	Cp, J/kg.K	ρ kg/m ³
Aluminium	238	900	2700
Tembaga	400	385	8700
Udara (298 K)	0.0261	1005	1.185

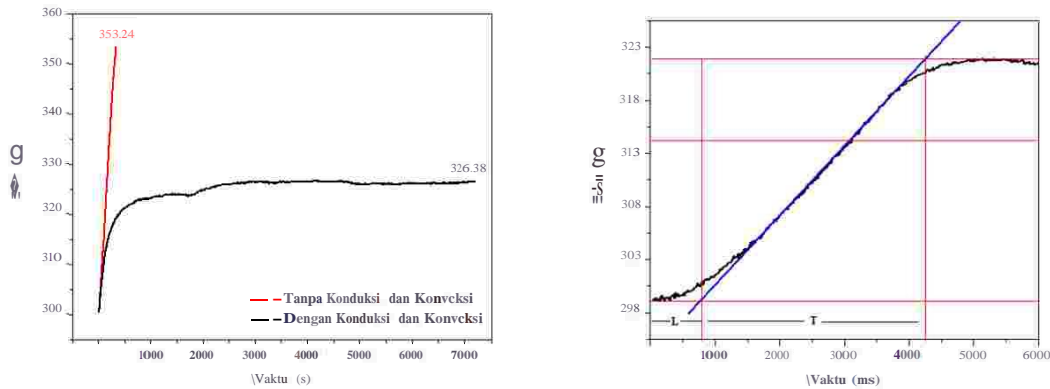
Proses analisis dan simulasi dilakukan berdasarkan diagram alir pada gambar 5. Pertama – tama akan dilakukan identifikasi pada sistem yang akan digunakan sebagai benda uji. Kemudian dianalisis apakah sistem sudah optimal atau belum. Apabila sistem teridentifikasi belum optimal kemudian dilakukan pengontrolan dengan kontrol PID pada kipas untuk membantu pengoptimalan sistem yang digunakan pada penelitian ini. Pengontrolan ini akan terus berlangsung sampai didapatkan sistem yang optimal. Setelah didapatkan sistem yang optimal, kemudian sistem akan dimodelkan dengan menggunakan *Comsol Multiphysics 4.4* untuk menganalisis proses pendistribusian panas pada sistem.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

3. Pembahasan

Setelah dilakukan identifikasi awal pada sistem diketahui bahwa sistem tidak dapat bekerja secara optimal tanpa adanya proses konduksi dan konveksi menggunakan *heat sink* dan kipas. Saat digunakan bermain *Counter Strike* selama satu jam, sistem berhenti bekerja akibat *processor* terlalu panas dan faktor umur penggunaan sistem selama lebih dari tujuh tahun mengakibatkan proses pendinginan tidak lagi bekerja maksimal. Pada gambar 6 (a) terlihat suhu *processor* mencapai angka 353.24 K pada 327 s sebelum akhirnya *CPU* mati. Kondisi ini terjadi ketika *processor* hanya menggunakan *heat sink* dalam proses penurunan suhu. Saat kipas ditambahkan pada *heat sink*, suhu *processor* dapat turun menjadi 326.38 K. Oleh karena itu kontrol PID akan diaplikasikan pada kipas untuk membantu mengoptimalkan kinerja sistem dengan cara menjaga suhu *processor* agar tidak mencapai batas suhu maksimum yang direkomendasikan, yaitu 343 K [5].



Gambar 6. (a) Pengaruh Kipas pada Suhu Processor, (b) Kurva Respon S Suhu Processor terhadap Waktu

3.1 Parameter Kontrol PID dengan Metode Ziegler Nichols

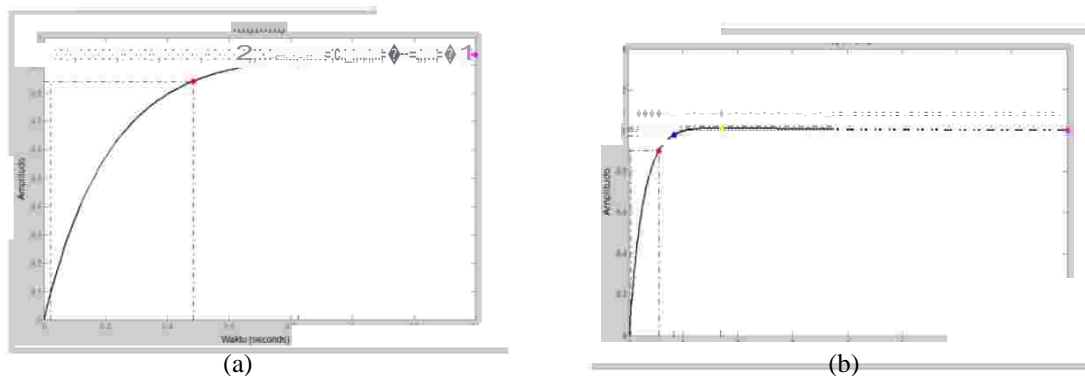
Data kenaikan suhu *processor* kemudian diubah ke dalam kurva perubahan suhu terhadap waktu yang digunakan untuk menentukan parameter kontrol PID dengan menggunakan metode Ziegler Nichols. Dari kurva tersebut dapat diketahui nilai konstanta L (waktu mati) dan nilai konstanta waktu tunda T. Dari gambar 6 (b) diperoleh konstanta $L = 780 \text{ ms} = 0.78 \text{ s}$ dan konstanta $T = 3470 \text{ ms} = 3.47 \text{ s}$. Dengan menggunakan rumusan penalaan parameter kontrol PID berdasarkan cara kurva reaksi pada tabel 1, maka didapatkan parameter kontrol PID pada tabel 5.

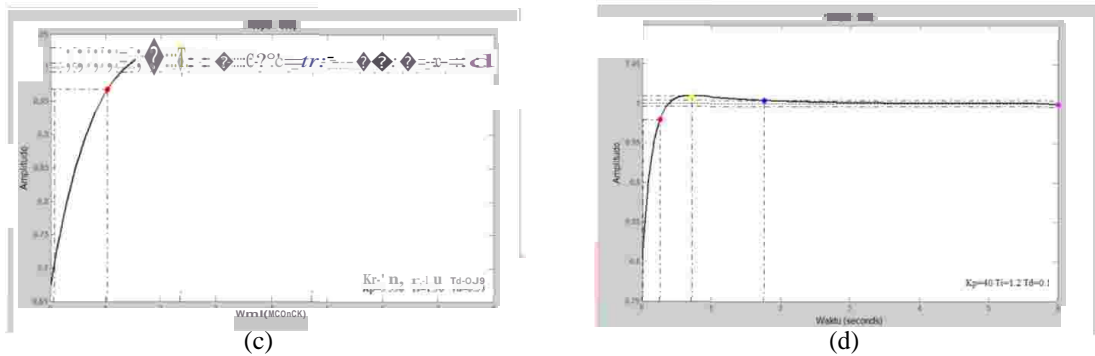
Tabel 5. Parameter Kontrol PID

	P	PI	PID
K_p	4.448	4.004	5.338
t_i	~	2.6	1.56
t_d	0	0	0.39

3.2 Uji Coba Parameter Kontrol PID dengan Simulasi Matlab

Nilai parameter kontrol PID hasil penalaan menggunakan metode Ziegler Nichols kemudian disimulasikan menggunakan *software Matlab*. Diketahui bahwa kontrol P tidak sesuai untuk sistem karena tidak dapat mencapai nilai 1, sedangkan kontrol PI dan PID hasil penalaan juga tidak sesuai karena memiliki *overshoot* pada kedua kurva reaksi. Kemudian dilakukan uji coba variasi nilai parameter kontrol PID hingga didapatkan nilai yang diinginkan, yaitu $K_p = 40$, $t_i = 1.2$, dan $t_d = 0.1$ dipilih karena memiliki *rise time* yang cepat pada 0.24 s, *settling time* yang cepat pada 1.75 s, *overshoot* yang rendah sebesar 0.92% pada 0.71 s, serta mencapai nilai 1.

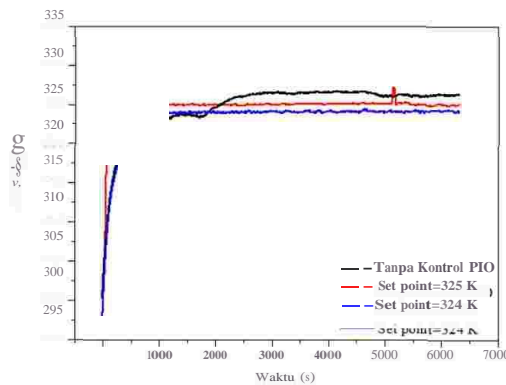




Gambar 7. (a) Kontrol P, (b) Kontrol PI, (c) Kontrol PID, (d) Kontrol PID Hasil Uji Coba

3.3 Implementasi Parameter Kontrol PID dengan Eksperimen pada Sistem

Nilai parameter kontrol PID hasil uji coba menggunakan *software Matlab* kemudian diimplementasikan pada sistem.

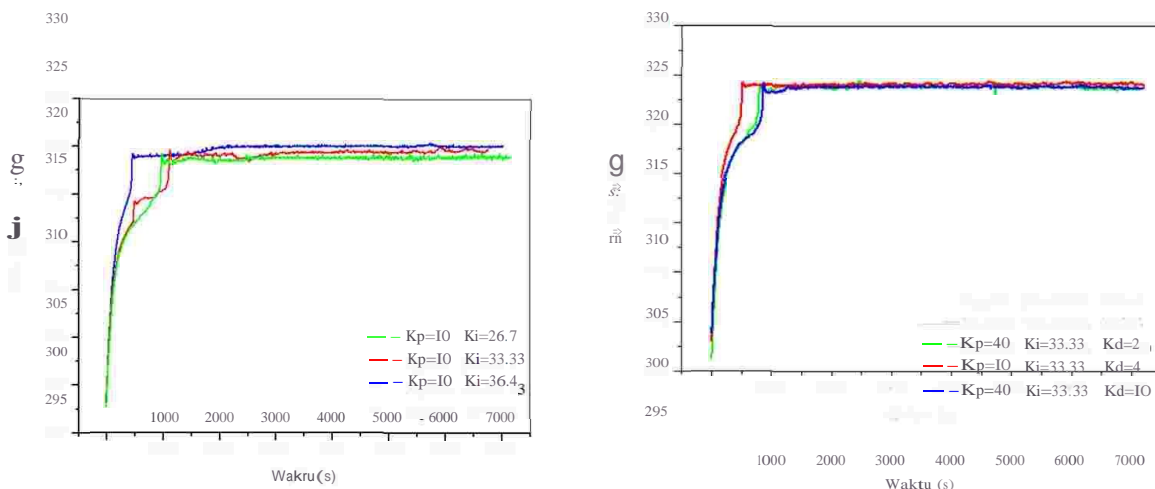


Gambar 8. Perbandingan Kurva Reaksi dengan Perbedaan Nilai Set Point

Pada kurva reaksi berwarna merah terlihat nilai suhu awal fluktuatif di sekitar 320 K. Kemudian pada waktu 1000 detik suhu mulai stabil di angka 324 K. Besaran suhu yang didapat dari data hasil eksperimen ini ternyata lebih rendah dari nilai *set point* 325 K, oleh karena itu pada eksperimen selanjutnya nilai *set point* diubah menjadi 324 K.

Penurunan nilai *set point* berpengaruh pada data hasil eksperimen. Dapat dilihat pada kurva reaksi berwarna biru bahwa suhu *processor* dapat dipertahankan di angka 324.02 K mulai di 500 s hingga eksperimen berakhir di 7200 s. Jadi nilai parameter kontrol PID hasil penalaan dengan metode uji coba berupa $K_p = 40$, $K_i = 33.33$, dan $K_d = 4$ serta nilai *set point* 324 K merupakan nilai parameter kontrol yang sesuai untuk sistem. Suhu *processor* dapat dijaga pada 324 K dalam kondisi kerja 100% sehingga *CPU* tidak akan berhenti bekerja akibat suhu yang terlalu tinggi melebihi nilai maksimal suhu yang direkomendasikan, yaitu 343 K.

Kurva reaksi berwarna hitam merupakan hasil pengambilan data tanpa implementasi kontrol PID pada kipas. Terlihat pada gambar 8 bahwa dengan penggunaan kontrol PID suhu lebih cepat mencapai nilai *set point* dan juga lebih stabil.



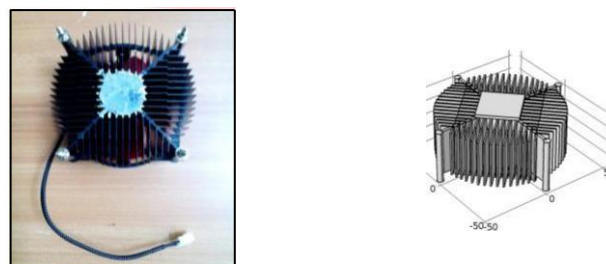
Gambar 9. (a) Perbandingan Nilai Ki, (b) Perbandingan Nilai Kd

Dari gambar 9 (a) dapat diketahui bahwa dengan nilai $K_i = 36.4$ yang lebih besar dari nilai $K_i = 33.33$ *rise time* akan dicapai lebih cepat akan tetapi tidak mencapai nilai *set point* yang diinginkan, *settling time* terjadi pada 2000 s dengan nilai 325 K. Sedangkan dengan nilai $K_i = 26.7$ yang lebih kecil dari nilai $K_i = 33.33$ tidak memberikan pengaruh apapun dibandingkan dengan nilai $K_i = 33.33$.

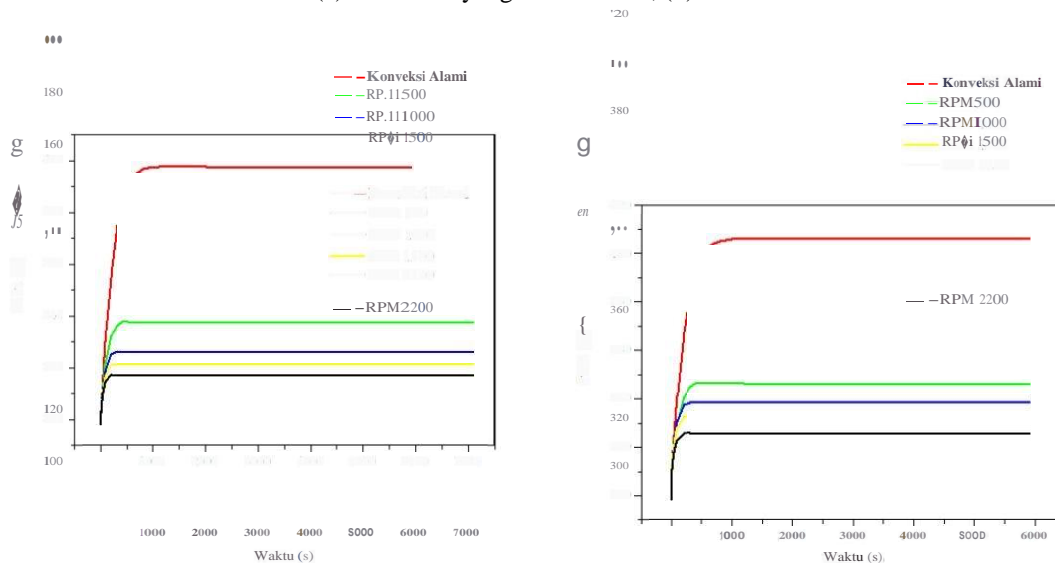
Selain perbandingan nilai parameter K_i , nilai parameter $K_d = 4$ pun akan dibandingkan dengan nilai K_d yang lebih besar dan lebih kecil agar terlihat pengaruhnya pada pengontrolan kipas. Pada gambar 9 (b) terdapat tiga nilai K_d yang dibandingkan yaitu, 2, 4, dan 10. Nilai $K_d = 10$ yang lebih besar dari nilai $K_d = 4$ tidak memberikan perbedaan yang berarti dibandingkan dengan nilai $K_d = 2$, keduanya memiliki nilai *rise time* dan *settling time* yang hampir bersamaan. Nilai K_d terlihat memiliki *rise time* sedikit lebih cepat dibandingkan dengan dua nilai K_d lainnya.

3.4 Pemodelan Heat Sink dan Kontrol PID dengan Comsol Multiphysics 4.4

Pemodelan *heat sink* pada Comsol dibuat pada bagian *geometry*. Pemodelan *heat sink* terdiri dari 97 *block* dan 6 buah *cylinder* yang disusun sedemikian sehingga menyerupai bentuk *heat sink* yang asli dengan ukuran yang sebenarnya. Hasil pemodelan *heat sink* ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 7. (a) *Heat Sink* yang Dimodelkan, (b) Hasil Pemodelan *Heat Sink*



Gambar 8. (a) Perbandingan Suhu Rata – Rata, (b) Perbandingan Suhu Tertinggi

Simulasi pertama yang dilakukan adalah proses transfer panas konveksi pada *heat sink* secara alami. Pada proses ini suhu rata – rata pada *heat sink* adalah 397.47 K saat 6000 s dengan suhu tertinggi 406.22 K. Selanjutnya dilakukan simulasi proses transfer panas konveksi secara paksa dengan variasi nilai rpm kipas. Nilai *RPM* divariasikan dari mulai 500 hingga 2200. Pada nilai *RPM* 500 suhu rata – rata *heat sink* adalah 337.36 K pada 6000 s dengan suhu tertinggi 346 K. Nilai *RPM* 1000 menghasilkan suhu rata – rata 326.02 K pada 6000 s dengan suhu tertinggi 334.6 K. Suhu *heat sink* pada *RPM* 1500 dan 6000 s adalah 321 K dengan suhu tertinggi 329.5 K, dan pada *RPM* 2200 di waktu yang sama adalah 317.08 K dengan suhu tertinggi 325.5 K. Dari hasil simulasi variasi nilai *RPM* diketahui bahwa semakin besar nilai *RPM* akan semakin cepat pula menurunkan suhu pada *heat sink*.

3.5 CPU Utilization

Tabel 6. Perbandingan Suhu terhadap Kenaikan *CPU Usage*

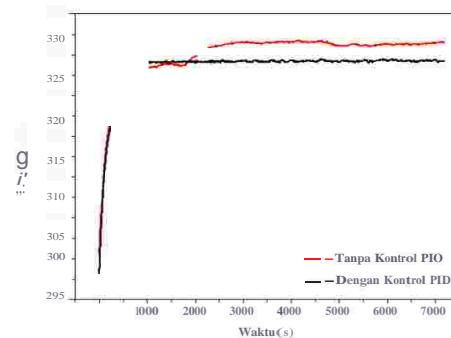
CPU Usage (%)	Suhu (K)	
	Tanpa Kontrol PID	Kontrol PID
0	0	0
10	314.02	309.5
20	315.97	310.7

30	316.46	312.2
----	--------	-------

50	317.43	313.16
60	318.41	315.93
70	319.39	317.15
80	321.34	319.4
100	326.38	324

Salah satu hal yang diamati pada penelitian ini adalah *CPU utilization*. Setelah didapatkan nilai parameter kontrol PID yang sesuai pada sistem, kemudian dilakukan pengecekan pengaruh kenaikan *CPU usage* terhadap suhu sebelum dan sesudah implementasi kontrol PID pada sistem.

Dari tabel 4.6 terlihat bahwa suhu tanpa penggunaan kontrol PID pada kipas lebih tinggi dibandingkan dengan suhu setelah kipas diberikan kontrol PID. Dengan beban kerja komputer yang sama, namun kenaikan suhu berbeda merupakan pengaruh dari implementasi kontrol PID pada kipas. Kontrol PID menjaga suhu processor tetap pada nilai set point walaupun digunakan dengan beban kerja komputer 100% sekalipun. Pada gambar 9 terlihat bahwa kenaikan suhu processor setelah penggunaan kontrol PID pada kipas lebih stabil dan dapat dipertahankan pada nilai set point 324 K, sedangkan suhu processor tanpa pengaruh dari kontrol PID terlihat tidak stabil.



Gambar 9. Perbandingan Suhu Processor pada CPU Usage 100%

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penerapan kontrol PID dapat menjaga suhu agar tidak melebihi batas maksimum suhu yang direkomendasikan (*overheat*). Nilai $K_p = 40$, $K_i = 33.33$, $K_d = 4$, menghasilkan nilai *rise time* 450 s dan suhu stabil sebesar 324 K tercapai dalam waktu 500 s tanpa adanya *overshoot*.
2. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Comsol Multiphysics 4.4* diperoleh informasi proses konveksi secara alami mencapai suhu maksimal dan stabil pada nilai 452.5 K tercapai dalam waktu 1500 s, sedangkan proses konveksi paksa dengan nilai variasi kecepatan kipas setara 2200 RPM mencapai suhu maksimal dan stabil pada nilai 325.5 K tercapai dalam waktu 200 s.
3. Setelah diaplikasikan kontrol PID pada kipas, suhu bisa mencapai nilai stabil 324 K dalam waktu 500 s dan tidak mengalami kenaikan lagi dengan kondisi *CPU usage* 100%. Hal ini berbeda dengan kasus tanpa kontrol PID yang mengalami kenaikan suhu hingga 326 K dalam waktu 3000 s.

Daftar Pustaka :

- [1] Mohan, R., Gouvindarajan, P. (2010). Thermal Analysis of CPU with Composite Pin Fin Heat Sinks. *International Journal of Engineering Science and Technology*, pp. 4051 – 4062.
- [2] Levicott, D. THERMAL DESIGN OF THE DELL™ POWEREDGE™ T610™, R610™, AND R710™ SERVERS. Round Rock. Texas.
- [3] Fu, Y., Kottenstette, N., Chen, Y., Lu, C., Koutsoukas, D. X., Wang, H. (2010). Feedback Thermal Control for Real – Time Systems. *Proceeding of the 16th IEEE Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium* (pp. 111 – 120). Stockholm : IEEE.
- [4] Kim, J., Sabry, M., Atienza, D., Vaidyanathan, K., Gross, K. (2014). Global Fan Speed Control Consedering Non – Ideal Temperature Measurements in Enterprise Servers. *Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE)* (pp. 1-6). Dresden : IEEE.
- [5] Cengel, Y.A. (2003). *Heat Transfer – A Practical Approach*. 2nd edition. McGraw – Hill Inc. New York.
- [6] Wicaksono, H. (2004). Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC. *Jurnal Teknik Elektro Vol. 4, No. 2*, pp. 70-78.

