

PENGENDALIAN SUHU *SLEEPING BAG* MENGGUNAKAN KENDALI PID

M.Hadafi Maulana I.¹, Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.², Rahmadwati, S.T., M.T., PhD³

¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email : hadafimaulana3@gmail.com

Abstrak

Tidur merupakan kebutuhan dasar manusia yang merupakan mekanisme untuk memulihkan tubuh dan fungsinya, memelihara energi dan kesehatan, memiliki manfaat untuk memulihkan tubuh baik secara fisik maupun emosional serta diperlukan untuk bertahan hidup. Karena pentingnya fungsi tidur manusia perlu memperhatikan faktor yang mempengaruhi kualitas tidur. Dan faktor yang paling berpengaruh pada kualitas tidur adalah suhu ruangan. Suhu ruangan berpengaruh pada kualitas dan kenyamanan tidur. Karena Suhu ruangan yang terlalu panas atau terlalu dingin seringkali menyebabkan seseorang gelisah. Keadaan ini akan mengganggu tidur seseorang. Apalagi saat tidur di alam terbuka, suhu yang terlalu dingin dapat menyebabkan seseorang terkena Hipotermia dan kualitas tidur terganggu. Hipotermia adalah suatu kondisi dimana mekanisme tubuh untuk pengaturan suhu kesulitan untuk mengatasi tekanan suhu dingin. Seseorang dapat dikatakan hipotermia jika suhu tubuh di bawah 34°C. Pentingnya menjaga suhu tubuh manusia di keadaan normal. Di katakan normal jika Suhu mereka antara (36,8-37,8)°C. Oleh karena itu dibuatlah suatu alat berupa *sleeping bag* penghangat suhu tubuh dengan menggunakan kontroler PID berbasis Arduino untuk mengatasi masalah Hipotermia saat tidur di alam terbuka.

Pada penggunaan kontroler PID didapatkan nilai parameter $K_p = 101.5$, $K_i = 25.35$, dan $K_d = 10$, sehingga dapat mempercepat sistem untuk mencapai keadaan *steadystate* sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan berupa suhu 38°C.

Kata Kunci: *Sleeping Bag* Penghangat, Solusi Hipotermia, Kontroler PID, Ziegler Nichols 1.

Abstract

Sleep is the basic human need that is the mechanism for healing the body and the functions, to maintain energy and healthy, to restore the body either physically or emotionally and as the needed to survive. Because of the importance of sleep, people have to consider the factors affect to comfort the sleep. The most influential factor of sleep quality is room temperature. Room temperature affects the quality and comfort the sleep. The temperature of a room that is too hot or too cold may cause unease and interference the sleep. When sleep at open area, the cold temperature may cause hypothermia and the sleep quality is being disturbed. Hypothermia describes a state in which the body's mechanism for temperature regulation is overwhelmed in the face of a cold stressor. Hypothermia occurs as the body temperature passes below 34 C. The importance of maintaining the temperature of the human body in normal circumstances. The temperature is considered normal if they are between (36.8 to 37.8) °C. Therefore, we made a tool as heating sleeping bag to warmth the body temperature by the use of PID controller based on Arduino to overcome hypothermia.

Utilization of PID controller can be obtained the parameter value as $K_p = 101.5$, $K_i = 25.35$, and $K_d = 10$, so it can accelerate system to get steady state in accordance with determined set point in temperature 38C.

Keywords : Heating Sleeping Bag, Hypothermia Solution, PID Controller, Ziegler Nichols 1.

I PENDAHULUAN

Tidur adalah keadaan relatif tanpa sadar yang penuh ketenangan tanpa kegiatan yang merupakan urutan siklus yang berulang-ulang dan masing-masing menyatakan fase kegiatan otak dan badaniah yang berbeda (Lilis & Taylor, 2001). Tidur merupakan kebutuhan dasar manusia yang merupakan mekanisme untuk memulihkan tubuh dan fungsinya, memelihara energi dan kesehatan, memiliki manfaat untuk memulihkan tubuh baik secara fisik maupun emosional serta diperlukan untuk bertahan hidup (Foreman & Wykle, 1995). Sehingga tanpa tidur yang cukup, kemampuan seseorang untuk berkonsentrasi, membuat

keputusan serta melakukan kegiatan sehari-hari dapat menurun (Potter & Perry, 2003).

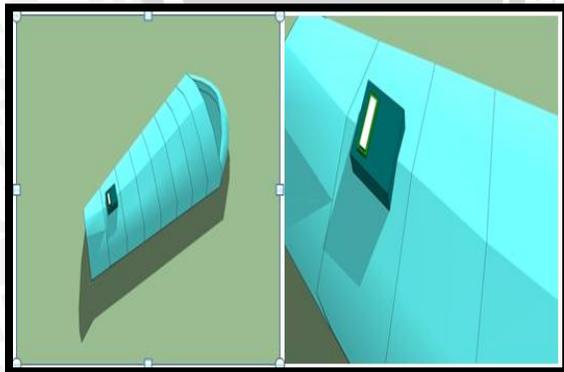
Menurut Aman (2005), Tidur memang sangat penting bagi tubuh manusia untuk jaringan otak dan fungsi organ-organ tubuh manusia karena dapat memulihkan tenaga dan berpengaruh terhadap metabolisme tubuh. Tercukupinya kebutuhan tidur bisa membuat seseorang aktif dan *fresh* dalam menjalankan aktifitasnya. Tercukupi disini lebih pada persoalan kualitas dari pada kuantitas. Artinya, orang yang tidur lima jam tapi kualitasnya bagus, lebih baik dari pada yang tidur tujuh jam tapi kualitasnya jelek. Kebutuhan tidur sangat bergantung usia, aktifitas, dan pekerjaan seseorang.

Faktor yang paling berpengaruh pada kualitas tidur adalah suhu ruangan. Suhu ruangan berpengaruh pada kualitas dan kenyamanan tidur. Karena Suhu ruangan yang terlalu panas atau terlalu dingin seringkali menyebabkan seseorang gelisah. Keadaan ini akan mengganggu tidur seseorang. Apalagi saat tidur di alam terbuka, suhu yang terlalu dingin dapat menyebabkan seseorang terkena hipotermia dan kualitas tidur terganggu. Hipotermia adalah suatu kondisi dimana mekanisme tubuh untuk pengaturan suhu kesulitan untuk mengatasi tekanan suhu dingin. Seseorang dapat dikatakan hipotermia jika suhu tubuh di bawah 34 °C. Oleh karena itu pentingnya menjaga suhu tubuh manusia di keadaan normal. Menurut Breman (2009), Di katakatan normal normal suhu tubuh adalah jika suhu *oral* (Mulut) antara (35,5-37,5)° C, suhu *aksila* (Ketiak) antara (34,7-37,3)° C, suhu *rektal* (Dubur) antara (36,6-37,9)° C. Pada skripsi ini akan membahas bagaimana cara merancang alat berupa perangkat keras dan perangkat lunak berbasis Arduino pada pengendalian suhu pada sleeping bag penghangat dengan pengendali PID untuk mengatasi dan mencegah masalah Hipotermia pada saat tidur di alam terbuka yang suhunya dingin.

II TINJAUAN PUSTAKA

A. Plant Sleeping Bag

Sleeping bag sendiri adalah salah satu perlengkapan vital untuk mendaki gunung karena fungsinya sebagai alat bantu menangani suhu dingin saat tidur dalam gunung. Dan ini adalah plant yang digunakan yaitu plant sleeping bag yang dapat menghangatkan tubuh di udara dingin agar dapat mencegah dan terhindar dari Hipotermia. Plant dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 8. Plant Sleeping Bag

A. Kontroler Proporsional Integral Differensial

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan yang dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

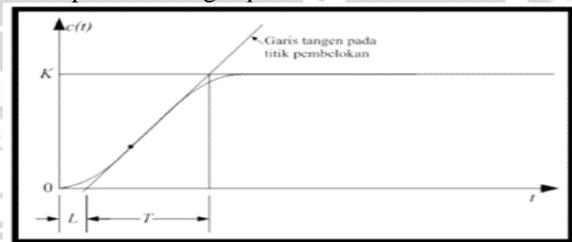
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam transformasi laplace dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \dots\dots\dots (2)$$

B. Metode Ziegler-Nichols 1

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plant*.



Gambar 6. Kurva Respon yang berbentuk S

Kurva berbentuk S dalam gambar 1 tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots (3)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam

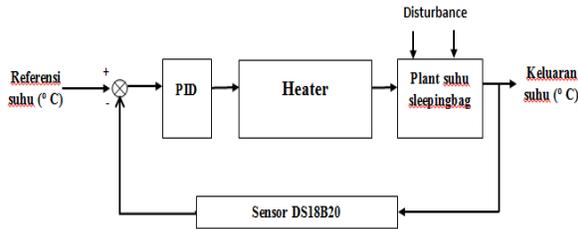
Tabel 1. Rumus Metode Pertama Ziegler-Nichols

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

III METODOLOGI PENELITIAN

A. Penyusunan Blok Diagram Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan diagram blok sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan yang didesain dapat dilihat pada Gambar



Gambar 7. Blok Diagram Sistem Loop

Tertutup

Plant = *Sleeping bag* penghangat

Gangguan = Suhu udara dingin dari Kipas.

Input dan Output = Suhu(°C)

Heater = Kawat nikelin

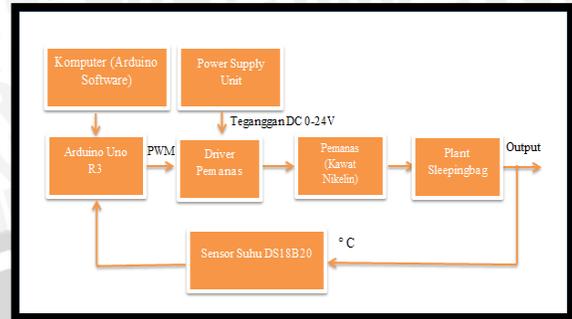
Sensor suhu = Sensor suhu DS18B20

B. Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengontrolan *sleeping bag* penghangat dapat diketahui penggunaan pemakaian daya elektrik seperti apa yang telah direncanakan.

Pembuatan perangkat keras yang dilakukan meliputi:

1. Skema pembuatan perangkat keras.
2. Penentuan modul elektronik yang digunakan:
 - Komputer atau PC
 - *Power Supply Unit* (PSU)
 - Mikrokontroler Arduino Uno R3.
 - Driver BTS7960 43A
 - Sensor suhu.
 - Kawat nikelin.



Gambar 8. Skema pembuatan perangkat keras (Sumber: Perancangan)

C. Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang meliputi komponen-komponen pendukung pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Komputer atau PC yang sudah terinstall *software* Arduino dan MATLAB 2009b.
2. Perangkat kontroler yang digunakan adalah Arduino Uno R3. Mikrokontroler Arduino Uno R3 berfungsi sebagai penyimpan algoritma kontroler sistem, pengendali driver motor, dan menerima serta mengolah data yang dikirimkan sensor suhu DS18B20. Mikrokontroler menggunakan catu tegangan sebesar 5 Volt yang didapat dari komputer atau PC
3. Driver yang digunakan adalah modul yang menggunakan BTS796. Driver motor berfungsi sebagai pengali tegangan dimana tegangan masukan dari mikrokontroler Arduino dikali dengan sebuah nilai *gain* atau penguatan tertentu menjadi tegangan keluaran driver motor yang digunakan untuk mencatu kawat nikelin. Catu tegangan driver motor didapat dari *power supply unit* (PSU) dengan tegangan maksimal 40 V dan arus maksimalnya sebesar 43 A.
4. Kawat nikelin yang digunakan dicatu tegangan sebesar 24 V, berfungsi untuk menghasilkan suhu panas ke dalam *sleeping bag*.
5. Sensor suhu DS18B20 adalah digital termometer, dimana keluaran sensor suhu berupa sinyal pulsa yang mengindikasikan suhu tertentu. jenis biasa dan waterproof.

D. Prinsip Kerja Sistem

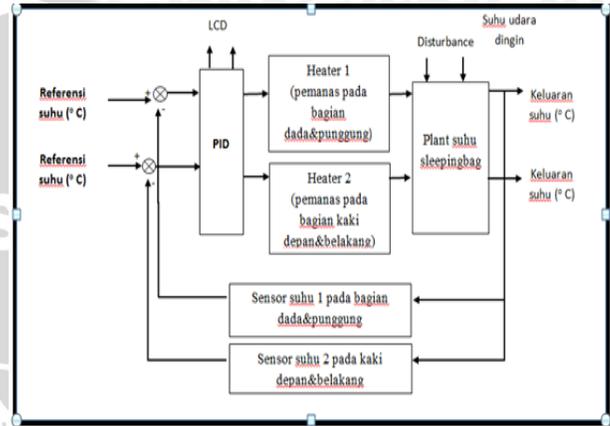
Prinsip kerja sistem adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* (PSU) 24 VDC sebagai suplai rangkaian driver dan kawat nikelin.
2. Catu daya Arduino Uno R3 diambil dari komputer dengan menghubungkan port komunikasi Antara Arduino dan komputer menggunakan perantara kabel USB dengan kecepatan transfer data sebesar 9600 *bit per second* (bps).
3. Sistem diberi catu daya. Catu daya sebesar 5V dari mikrokontroler digunakan untuk mencatu rangkaian penguat sensor suhu, dan mikrokontroler Arduino Uno R3.
4. Sinyal kontrol dari Arduino Uno R3 masuk ke driver. Driver berfungsi untuk menguatkan sinyal yang dihasilkan mikrokontroler Arduino Uno R3 dari 0-5 V menjadi 0-24 V.
5. Sinyal keluaran rangkaian penguat sebagai masukan Arduino Uno R3 yang kemudian diproses menggunakan kontroler PID.
6. Keluaran Arduino Uno berupa sinyal pulse width modulation (PWM) *Pulse Width Modulation* diberikan ke driver.
7. Menggunakan aktuator berupa kawat nikelin yang akan menghasilkan panas pada *sleeping bag*.
8. Mencari fungsi alih *plant* dengan menggunakan metode *Ziegler-nichols* 1 dan di dapat grafik kurva s untuk mencari nilai L dan T.
9. Mengimplementasikan hasil desain perancangan pada sistem.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Diagram Blok Sistem

Pada pembuatan perangkat keras diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan rencana.



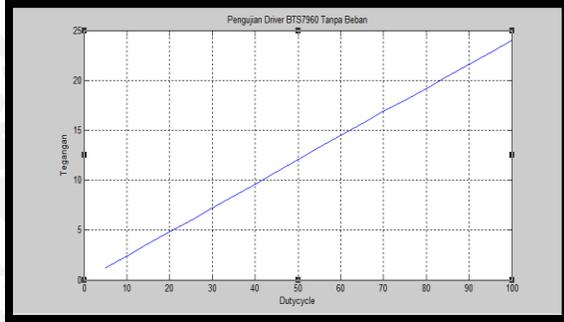
Gambar 9. Blok Digram Sistem Loop Tertutup

Keterangan dari diagram blok sistem dalam Gambar 9 adalah sebagai berikut:

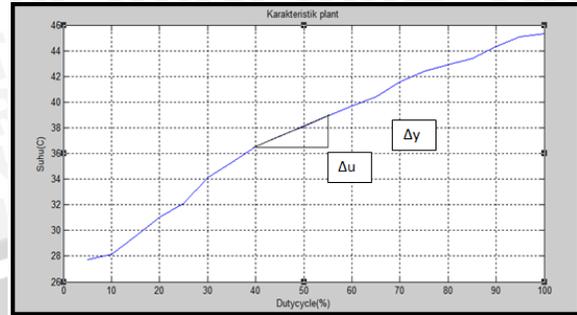
- *Setpoint* sistem adalah suhu sebesar 38°C yang dihasilkan oleh karakteristik pemanas kawat nikelin.
- Pusat pengendalian sistem adalah Arduino Uno R3 yang memberikan sinyal PWM pada kawat nikelin melalui driver.
- Aktuator menggunakan kawat nikelin yang berfungsi untuk pemanas pada *sleeping bag* yang mendapat sinyal masukan dari *output* PWM driver.
- Sensor suhu yang berfungsi sebagai *feedback* (umpan balik) agar suhu *sleeping bag* sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan dengan jarak rentang 29-38°C
- Kontroler yang digunakan adalah Kontrol PID dengan menggunakan 2 Arduino Uno R3 untuk mendapatkan parameter kontroler digunakan metode *Ziegler-Nichols*.

B. Karakteristik Driver BTS7860

Pengujian ini bertujuan untuk Mengetahui kinerja dan respon rangkaian modul Driver BTS7960 dengan membandingkan *output* tegangan efektif driver dengan masukan *dutycycle* sinyal PWM yang diberikan oleh Arduino Uno R3.



Gambar 10. Perubahan tegangan *output* Driver BTS7960 terhadap *input dutycycle*.



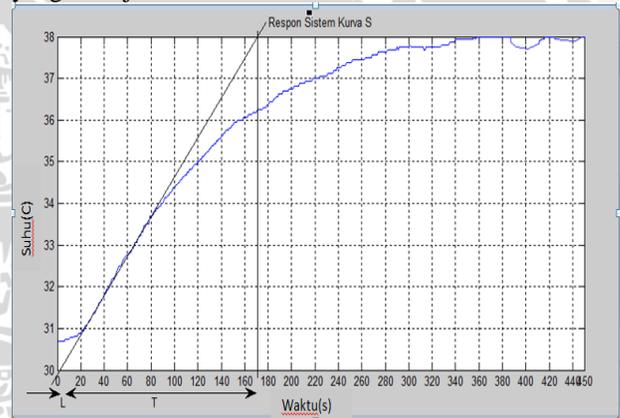
Gambar 12. Grafik Karakteristik statis *gain* keadaan mantap

Dari grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai *steady state gain* pada *plant* sebesar:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{39 - 36.2}{55 - 40} = 0.1867$$

• Perancangan Kontroler PID

Berikut kurva hasil perancangan kontroler PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols* 1, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 13



Gambar 13. Output Plant dengan kurva S

Dari grafik *output plant* pada Gambar 13 didapatkan nilai:

$$L = 2 \text{ s} \quad T_s = 360 \text{ s} \quad T_r = 60 \text{ s} \\ T = 169 \text{ s} \quad T_d = 80 \text{ s}$$

Setelah mendapatkan parameter yang dibutuhkan maka bias didapatkan fungsi alih *plant* seperti yang ditunjukkan dalam persamaan

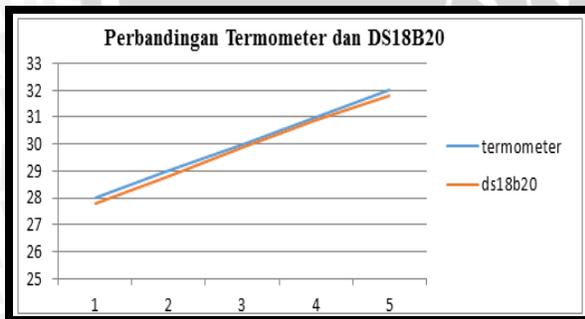
$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} = \frac{1.833e^{-2s}}{169s + 1}$$

Dan diperoleh nilai K_p , K_i , K_d :

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{169}{2} = 101.5 \\ K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{70.2}{2 \times 2} = \frac{101.5}{4} = 25.35$$

C. Karakteristik Sensor Suhu DS18B20

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor suhu yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan cara membandingkan *input* berupa suhu saat diberi beban berupa kawat nikelin 24V dengan *output* sensor suhu dihubungkan Arduino Uno R3 dengan mikrokontroler dengan rentang 0-5V.



Gambar 11. Perbandingan Termometer dengan DS18B20

C. Karakterisasi Plant

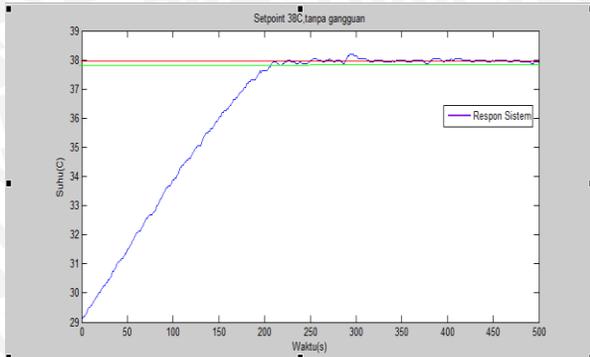
• Pengujian *Steady State Gain* pada *Plant*

Steady state gain pada *plant* untuk menemukan fungsi alih *plant* dan mendapatkan karakteristik statis *gain* keadaan mantap dengan cara *plant* di rancang secara *open loop* dan diberikan unit step masukan *dutycycle* 0%–100% dan di lihat pada Gambar 12 bagaimana respon keadaan mantapnya.

$$Kd = Kp \times Td = 101.5 \times (0.5 \times 2) = 101.5 \times 1 = 101.5$$

Pengujian sistem dengan menggunakan kontroler PID dilakukan untuk mengetahui respon sistem serta penggunaan pemakaian daya elektrik dengan variasi beban maupun variasi beban dengan gangguan dari kipas.

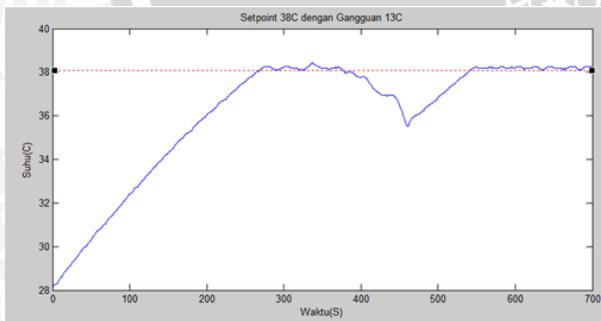
a) Pengujian pada *setpoint* 38 °C, tanpa gangguan.



Gambar 14. *Output plant setpoint* 38°C tanpa gangguan.

Dari grafik *output* sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 14 dapat disimpulkan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 250 detik, *error steady state* 0.39%, waktu naik (*tr*) selama 205 detik, waktu tunda (*td*) selama 45 detik, waktu puncak (*tp*) selama 300 detik dan maksimum *overshoot* (*Mp*) sebesar 0.526 %. tanpa gangguan dan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 500 detik pada *setpoint* 38°C

b) Pengujian pada *setpoint* 38°C, dengan gangguan 13 °C.

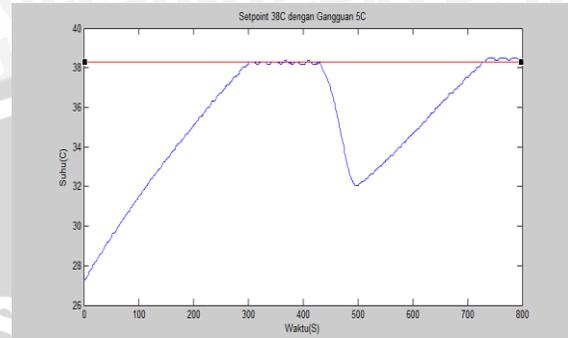


Gambar 15. *Output plant setpoint* 38 C dengan gangguan suhu 13 C.

Pada Gambar 15 grafik *output* sistem dapat disimpulkan, saat diberi gangguan selama 60 detik berupa udara dingin sebesar 13°C dengan waktu keadaan mantap (*ts*) 300 s, *recovery time* 90 s dan *error steady state* 0.51% hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint*

dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 700 detik pada *setpoint* 40°C .

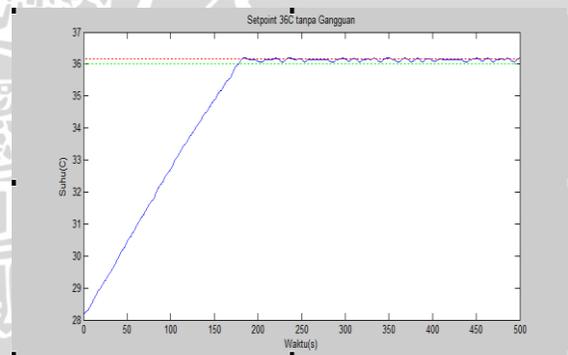
c) Pengujian pada *setpoint* 38°C, dengan gangguan 5°C.



Gambar 15 *Output plant setpoint* 38 C dengan gangguan suhu 5 C.

Pada Gambar 15 grafik *output* sistem dapat disimpulkan, saat diberi gangguan selama 60 detik berupa udara dingin sebesar 5°C dengan waktu keadaan mantap (*ts*) 320 s, *recovery time* 220 s dan *error steady state* 0.6% hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 800 detik pada *setpoint* 38°C.

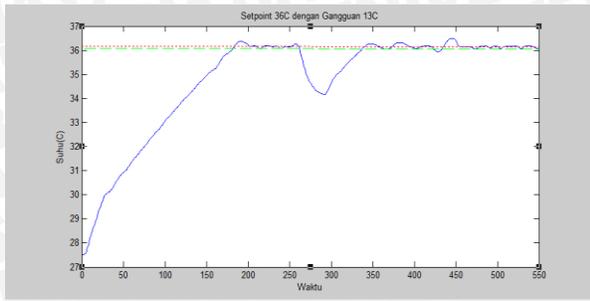
d) Pengujian pada *setpoint* 36°C, tanpa gangguan.



Gambar 16. *Output plant setpoint* 36°C, tanpa gangguan.

Dari grafik *output* sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 16 dapat disimpulkan waktu keadaan mantap (*ts*) selama 251 detik, *error steady state* 0.44 %, waktu naik (*tr*) selama 180 detik, waktu tunda (*td*) selama 71 detik, waktu puncak (*tp*) selama 190 detik dan maksimum *overshoot* (*Mp*) sebesar 0.55 %. tanpa gangguan dan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 500 detik pada *setpoint* 36°C..

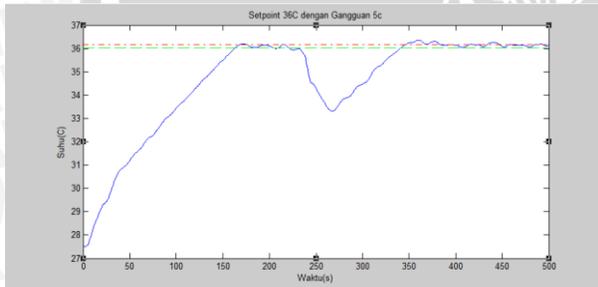
e) Pengujian pada setpoint 36°C, dengan gangguan 13 °C.



Gambar 17. Output plant setpoint 36°C, dengan gangguan 13°C

Pada Gambar 17 grafik *output* sistem dapat disimpulkan, saat diberi gangguan selama 60 detik berupa udara dingin sebesar 13°C dengan waktu keadaan mantap (ts) 300 s, *recovery time* 90 s dan *error steady state* 0.51% hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 550 detik pada *setpoint* 36°C.

f) Pengujian pada setpoint 36°C, dengan gangguan 5°C.



Gambar 18. Output plant setpoint 36°C, dengan gangguan 5°C

Pada Gambar 18 grafik *output* sistem dapat disimpulkan, saat diberi gangguan selama 60 detik berupa udara dingin sebesar 5°C dengan waktu keadaan mantap (ts) 220 s, *recovery time* 100 s dan *error steady state* 0.46% hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 500 detik pada *setpoint* 36°C.

V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hardware yang digunakan adalah plant Sleeping Bag penghangat, kawat nikelin, driver BTS7960, sensor suhu DS18B20, Arduino Uno R3. Software yang digunakan adalah Arduino 1.6.8 yang berfungsi memberikan perintah kepada hardware yang ada agar alat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan
2. Dengan menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols untuk menentukan nilai parameter kontroler PID, maka didapatkan nilai $K_p=101.5$, $K_i=25.35$, dan $K_d=10$ setelah diimplementasikan, sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.
3. Setelah sistem diberi kontroler PID, maka didapatkan *Output* sistem lebih cepat dari pada *open loop*, yaitu saat *open loop* sistem mencapai steady state dalam waktu 360 detik dan PID hanya butuh 250 detik untuk mencapai *steadystate* dan *error steady state* 0.39% waktu naik (*tr*) selama 205 detik, waktu tunda (*td*) selama 45 detik, waktu puncak (*tp*) selama 300 detik Hal ini membuktikan bahwa kontroler PID dapat mempercepat respon sistem.

2. Saran

Saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan untuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Setpoint harusnya lebih dari 2 agar pembagian nikelin lebih rapi dan panas sesuai suhu asli.
2. Pemilihan sensor suhu yang presisi dan mempunyai respon cepat sangat menunjang sistem dapat bekerja dengan baik sesuai data yang sebenarnya

DAFTAR PUSTAKA

- Aman (2005). *Fungsi Tidur*. <http://www.e-jurnal.com/2014/01/fungsi-tidur.html>
- Berman, Snyder, Kozier, Erb, (2009). *Buku Ajar Keperawatan Klinis Kozier&Erb*. Edisi 5. Jakarta: EGC
- Foreman, M.D ; Wykle, M. (1995). *Nursing Standart of Practice Protocol: Sleep Disturbance in Elderly Patient*. Cleveland: Mosby
- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.