

RANCANGAN ALAT INKUBATOR BAKTERI MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERBASIS ATMEGA 328

Bambang Abdul Rochim Mahuwa¹, Meilia Safitri¹, Bramasakti Handoko² Program Studi Teknik
Elektromedik Program Vokasi
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul-DIY, Indonesia 555185
Telp. (0274) 387656, Fax (0247) 387646
Email: bamsmahua@gmail.com, meilia.safitri.05@gmail.com

ABSTRAK

Bakteri adalah organisme yang jumlahnya paling banyak di Bumi. Terdapat dua kelompok bakteri, yang pertama kelompok bakteri penyebab penyakit dan kelompok bakteri yang memberikan manfaat dalam bidang pangan, pengobatan, dan industri. Bakteri yang akan diolah harus diinkubasi terlebih dahulu karena setiap spesies bakteri tumbuh pada kisaran suhu tertentu. Suhu dan kondisi lingkungan yang cocok dapat membuat bakteri berkembangbiak dengan baik. Pada tugas akhir ini, dirancang sebuah inkubator bakteri yang menggunakan pengendali suhu berbasis PID dengan sensor suhu DS18B20 dan dikendalikan oleh Microcontroller ATmega328. Perancangan alat inkubator bakteri terdapat pengendali suhu, sehingga suhu yang terdapat pada ruang inkubasi menjadi stabil dengan suhu 37 °C untuk proses inkubasi dan akan ditampilkan oleh LCD karakter 2x16 dalam proses berjalannya waktu inkubasi. *Driver heater* menggunakan MOC3041 dan TRIAC L4004LT untuk menyalakan *heater* sehingga proses menghasilkan suhu yang diinginkan. Alat inkubator ini terdapat LIMIT SWITCH yang berfungsi sebagai alarm atau sensor pada pintu ketika pintu dalam keadaan tidak tertutup rapat maka akan muncul pemberitahuan pada layar LCD tutup pintu. Hasil pengukuran alat inkubator bahwa pengendali suhu yang telah dirancang menghasilkan kesalahan total dari seluruh percobaan yang dilakukan senilai 0,17 pada pengujian suhu 37 °C, dengan total rata-rata suhu alat inkubator bakteri senilai 37,06 °C dan kesalahan pada alat TA sebesar 0,0035%.

Kata Kunci: Suhu, ATmega328, DS18B20, MOC3041, TRIAC L4004LT, LCD I2C

1. LATAR BELAKANG

Bakteri merupakan sekumpulan organisme yang tidak mempunyai membran inti sel dan ukurannya sangat kecil dari pada organisme yang lain, serta dia berperan penting untuk kegiatan yang ada di bumi. Banyak beberapa bakteri yang dapat berguna bagi kesehatan dan merugikan pada kesehatan sehingga bakteri tersebut membutuhkan suhu ruang agar dapat berkembang biak yaitu dengan cara inkubator bakteri [1].

Bakteri dapat hidup dengan beberapa suhu yang dimana suhu tersebut sangat efektif agar bakteri dapat berkembang. Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang paling penting untuk melakukan pertumbuhan dan kelangsungan hidup pada bakteri. Berdasarkan tingkatan suhu tidak semuanya cocok dalam pertumbuhan dan reproduksi organisme. Dengan demikian tinggi rendahnya suhu pada suatu lingkungan sangat penting bagi organisme tersebut, sehingga secara umum ada 4 kelompok pembagian mikroorganisme berdasarkan suhu lingkungan tempatnya hidup,

yaitu *psikrofil*, *mesofil*, *termofil*, dan *hipertermofil* [2]. *Psikrofil*, dapat tumbuh pada 0 sampai 30 °C, *Mesofil* dapat tumbuh pada suhu 25° sampai 40 °C *Termofil* dapat tumbuh pada suhu 50 sampai 90 °C, *Hipertermofil* dapat tumbuh pada suhu 90 °C atau lebih [3].

Dalam bidang mikrobiologi untuk menumbuhkan atau mempelajari sifat-sifat bakteri di perlukan suatu media sebagai tempat mikroorganisme tersebut sebagai penelitian. Media tersebut harus memiliki persyaratan nutrisi atau ruang lingkup yang dapat menguntungkan bagi bakteri tersebut untuk berkembangbiak. Media alternatif yang telah ditemukan di alam oleh sebagian peneliti seperti sumber daya protein dengan suhu kisaran 30 sampai 37 °C yaitu *kacang tunggak*, *kacang kedelai hitam* dan *kacang hijau*. Media alternatif dari sayuran seperti *wortel*, *tomat*, dan *labu*. Masih banyak lagi media alternatif alam yang dapat membuat bakteri tumbuh dan berkembang.

Sehingga diperlukan media inkubasi agar dapat

memberikan suhu yang stabil agar bakteri dapat berkembang dalam kelangsungan hidupnya dengan cara inkubator bakteri dengan suhu optimal 37 °C[4].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan bahan yang digunakan umbi ganyong, umbi gembili dan umbi garut. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan pembuatan ekstrak umbi-umbian sebanyak 300 gr dalam 1000 ml *aquades*, kemudian dilanjutkan dengan membuat media dengan menambah gula (*Gulaku*) 10 gr dan agar (*Swallow*) 15 gr kedalam ekstrak dan setelah itu media di sterilkan agar terbebas dari mikroba . Setelah itu sampel bakteri *Escherichi coli* dan *Staphylococcus aureus* diencerkan sebanyak 10 sampai 4 dan dibagi pada media yang perlakuan dengan metode *spread plate* kemudian diinkubasi pada suhu 36 - 37 °C selama 24 jam[4]. Selanjutnya inkubasi dihitung jumlah total bakteri dengan metode TPC (*Total Plate Count*) secara langsung. Sehingga dapat diketahui bahwa bakteri dapat berkembang dengan menggunakan media alternatif dan sangat membutuhkan tempat untuk menampung bakteri tersebut agar berkembang berdasarkan suhu yang telah ditentukan dengan menyuplai suhu terus menerus secara optimal.

Pada penelitian berikutnya alat yang dapat menginkubasi bakteri dengan menggunakan Sensor SHT11 yaitu digunakan untuk mengukur besarnya suhu dan kelembaban relatif di dalam box inkubator. Heater yang digunakan pemanas keramik untuk memanaskan udara di dalam kotak saat melakukan inkubasi. Sebagai *user interface*, digunakan keypad dan LCD karakter 2x16. Arduino Mega2560 berperan sebagai pengendali utama keseluruhan dalam proses berjalanya inkubasi dengan suhu 37 °C[5]. Dapat dilihat bahwa pada saat inkubasi berjalan maka dapat terjadi penurunan suhu yang dapat mengakibatkan proses inkubasi tidak berjalan dengan baik karena pada penelitian ini belum menggunakan sistem pengendali suhu yang dibutuhkan saat inkubasi, dan belum adanya sensor door yang sangat berperan penting ketika pintu belum tertutup rapat.

Dalam penelitian dirancang sebuah alat inkubator bakteri yang akan menggunakan *Proporsional Integral Differensial* (PID) yang berfungsi untuk *Mensetting* suhu pada inkubator pada saat inkubasi. Karena sistem ini dapat bekerja lebih optimal pada saat mulai memberikan suhu dalam ruang inkubator

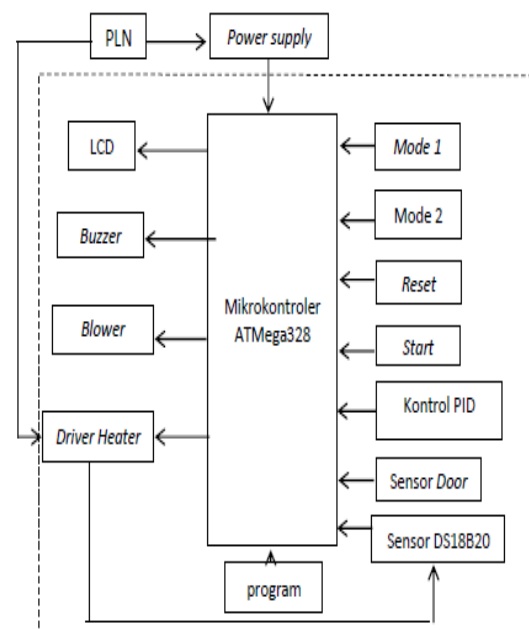
hingga selesai. Ketika suhu pada ruang inkubator mengalami penurunan atau kenaikan suhu maka sistem ini akan bekerja secara otomatis untuk memerintahkan mikrokontroler untuk memberikan suhu melalui *heater* dan terdapat sensor pada pintu. Agar ketika pintu terbuka maka sensor tersebut akan memberitahukan pada *user* bahwa pintu belum tertutup dengan rapat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu: perancangan *hardware*, perancangan desain alat, dan teknik pengujian.

2.1 Blok Diagram Sistem

Berdasarkan perancangan alat dapat dibuat sebuah blok diagram yang nantinya dipakai sebelum melakukan pembuatan alat. Berikut merupakan gambar 3.1 rancangan alat inkubator bakteri.



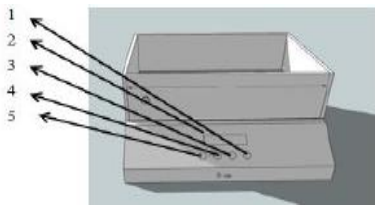
Gambar 2.1 Blok Sistem Inkubator Bakteri.

Pada perancangan alat inkubator bakteri, PLN akan memberikan tegangan pada *power supply* sehingga *power supply* akan menjadi sumber utama untuk memberikan tegangan pada setiap blok rangkaian. Pada saat user akan menjalankan alat maka menutup pintu hingga buzzer berbunyi, karena terdapat sensor door dibalik pintu setelah itu alat dijalankan user dapat mengatur selang waktu untuk proses inkubasi dengan cara menekan tombol *mode 1*

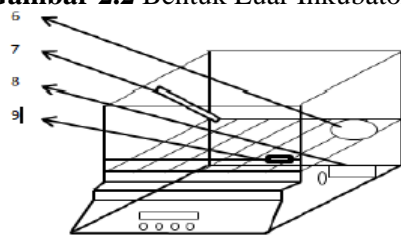
dan *mode 2*. Setelah itu mikrokontroler akan memberikan perintah melalui kodingan yang sudah diatur pada IC ATmega328 untuk menyalakan proses pemanasan melalui *heater*, maka *heater* akan bekerja dengan batas waktu yang telah diberikan, pada saat melakukan pemanasan sensor suhu DS18B20 akan membaca kenaikan suhu yang telah tercapai hingga 37°C dan akan tertampil pada layar *display LCD*. Ketika suhu sudah mencapai 37°C sensor suhu akan memberitahukan pada mikro bahwa suhu telah tercapai, tetapi dalam pemanasan tidak selamanya suhu akan tetap 37°C maka disitulah rancangan sistem PID akan bekerja untuk mengatur nilai PWM agar tegangan yang masuk pada *heater* lebih baik sehingga suhu yang terbaca pada sensor agar suhu tetap stabil. Sehingga proses inkubasi telah selesai maka *buzzer* akan berbunyi menandakan bahwa proses inkubasi bakteri selesai. Pada saat pintu terbuka *buzzer* akan berbunyi menandakan bahwa pintu terbuka ataupun pintu belum tertutup dengan rapat, sehingga muncul peringatan pada lcd “TUTUP PINTU”.

2.2 Diagram Mekanik Sitem

Berikut merupakan diagram mekanik sistem dari inkubator yang akan dirancang dengan menggunakan sistem pengendali suhu PID dan terdapat sensor *door* yang akan memberitahukan bahwa pintu terbuka sehingga akan ada peringatan pada lcd “TUTUP PINTU” sehingga sistem tidak akan bekerja. Dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2.2 Bentuk Luar Inkubator



Gambar 2.3 Bentuk Dalam Inkubator

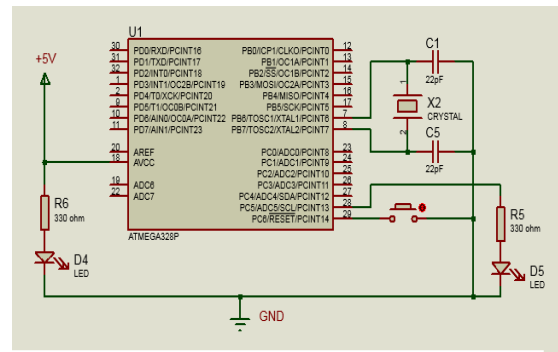
memiliki volume antara 33 x 33 x 33 cm. Di ruang inkubasi terdapat *plate* yang digunakan untuk meletakkan *heater* dan

meletakkan cawan petri yang dipakai dalam proses inkubasi bakteri. Berikut merupakan fungsi dari tombol yang ada pada inkubator bakteri :

1. LCD karakter 2 x 16, sebagai indikator layar untuk menampilkan proses berjalannya inkubator bakteri
2. Tombol mode 1, untuk memilih waktu yang diinginkan dengan setingan waktu berjalan langsung.
3. Tombol mode 2, untuk memilih waktu yang diinginkan dengansetingan waktu ketika suhu telah tercapai .
4. Tombol untuk *reset* ketikan ingin mengulangi setingan pada saat inkubasi
5. Tombol *enter* untuk memulai proses inkubasi
6. *Blower / Fan akan meratakan suhu yang ada dalam ruangan*
7. Sensor DS18B20 akan membaca temperatur yang ada dalam ruang inkubasi dan menampilkan pada layar *display*
8. Sebagai tempat peletakan *heater* yang akan memberikan suhu didalam ruang incubator
9. Tempat meletakkan sensor *door* sehingga pada saat proses inkubasi *user* dapat mengetahui pintu tertutup rapat atau tidak agar udara yang dari luar tidak masuk karena dapat mengganggu proses inkubasi.

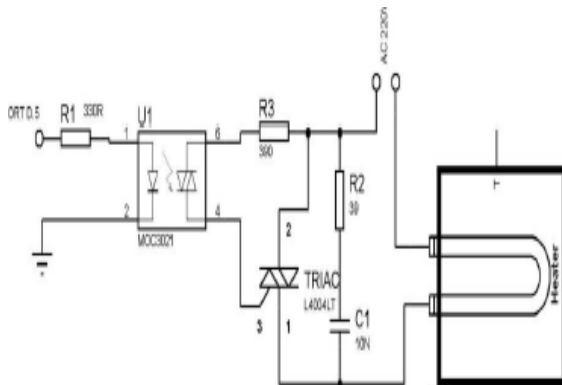
2.3 Rangkaian Minimum Sistem Arduino Uno

Membuat rangkaian mikrokontroler yang berfungsi untuk mengolah masukan data yang masuk dari sensor, menggunakan IC ATmega328. Rangkaian akan ditambahkan bootloader arduino untuk dapat diprogram menggunakan arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2.4 Rangkaian Minimum Sitem

Rangkaian *driver heater* yang akan digunakan MOC3041 dan Triac L4004LT yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dibawah ini.

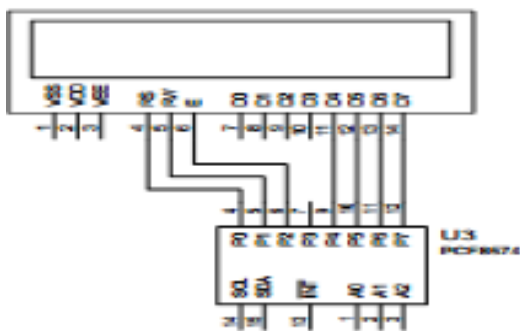


Gambar 2.5 Rangkaian *Driver Heater*

Rangkaian driver pada perancangan alat inkubator bakteri berfungsi untuk mengontak tegangan DC ke tegangan AC. Komponen MOC 3041 yang mendapatkan tegangan 5V dari mikro akan saturasi (switch ON dapat mengaktifkan triac 4004LT dengan kontak AC agar dapat menyalakan pemanas. Ketika MOC3041 tidak mendapatkan tegangan maka triac akan mati karena gate tidak mendapatkan tegangan dari MOC Gambar 1 Diagram Alir penggunaan resistor R1 sama dengan Vs dikurangi Vd yang hasilnya akan dibagi dengan arus [9].

2.5 Rangkaian Modul LCD 12C

Membuat rangkaian LCD dan modul I2C untuk menampilkan hasil yang didapat dari pengolahan data oleh mikrokontroler arduino uno, hasil berupa keterangan suhu sekarang dan waktu berjalan pada inkubasi. Berikut Gambar 6 merupakan rangkaian skematik modul LCD I2C.



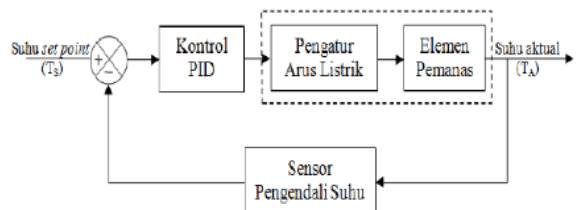
Gambar 2.6 Rangkaian Skematik LCD I2C

Sistem kontrol pemanas suhu ruangan dirancang dengan mekanisme menggunakan sistem kontrol loop tertutup dengan umpan

balik sensor DS 18B20 mekanisme pengontrolan temperatur pemanasan dilakukan dengan mengatur banyaknya energi listrik yang dialirkan ke pemanas heater berdasarkan teknik PWM (Pulse Width Modulation). Apabila suhu aktual (TA) pemanasan berbeda dengan suhu set point (Ts) maka selisih antara TA dengan TS 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 Kp, Ki dan Kd yang diberikan. Selanjutnya, sinyal PWM difungsikan untuk mengontrol Plant berupa komponen TRIAC, MOC3041 dan elemen pemanas. Pada Gambar 1 merupakan blok sistem pengendali suhu pada umumnya.

2.6 Desain Sistem Kontrol Pengendali

Sistem kontrol pemanas suhu ruangan dirancang dengan mekanisme menggunakan sistem kontrol loop tertutup dengan umpan balik sensor DS 18B20 mekanisme pengontrolan temperatur pemanasan dilakukan dengan mengatur banyaknya energi listrik yang dialirkan ke pemanas heater berdasarkan teknik PWM (Pulse Width Modulation). Apabila suhu aktual (TA) pemanasan berbeda dengan suhu set point (Ts) maka selisih antara TA dengan TS 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 Kp, Ki dan Kd yang diberikan. Selanjutnya, sinyal PWM difungsikan untuk mengontrol Plant berupa komponen TRIAC, MOC3041 dan elemen pemanas. Pada Gambar 7 merupakan blok sistem pengendali suhu pada umumnya.

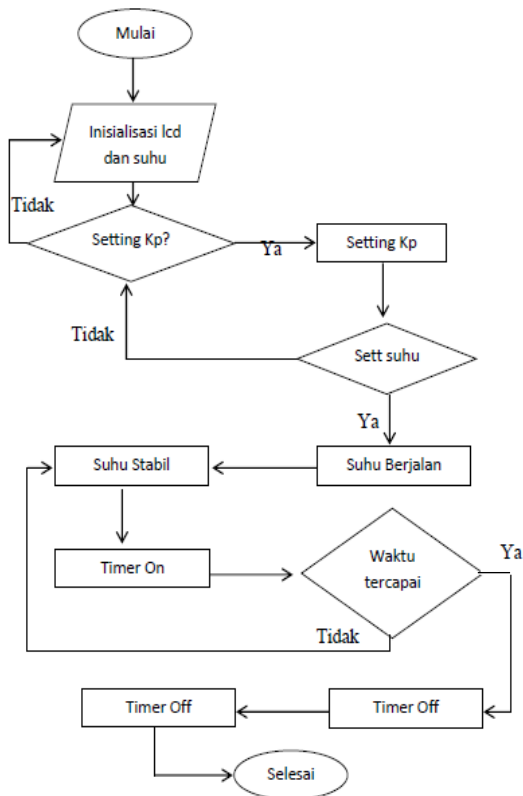


Gambar 2.7 Skematik umum Pengendali PID

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

$$D (\%) = TD * (K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt}) \dots [1]$$

Dimana nilai D merupakan Duty Cycle PWM, TD merupakan faktor skala untuk mengkonversi nilai PID menjadi nilai integer antara 0 hingga 255. Sedangkan konstanta Kp, Ki dan Kd merupakan parameter PID yang didapatkan dari proses tuning berdasarkan metode Ziegler-Nichols. Implementasi kontrol PID ke dalam bahasa program mikrokontroler sebagaimana terdapat dalam bentuk *flowchart* Gambar 8. Ketika tegangan keluaran dari rangkaian driver MOC3041 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. Untuk program manual, program ini digunakan untuk proses perhitungan PID.

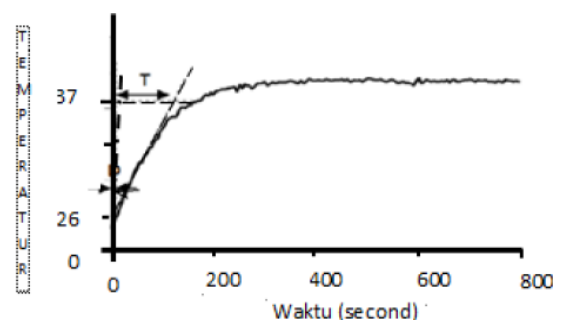


Gambar 2.8 Flowchart Program Kontrol PID

Metode pengendali PID Ziegler-Nichols diturunkan berdasarkan data eksperimen sehingga diperlukan faktor koreksi terhadap nilai Kp agar didapatkan sistem kontrol yang

lebih stabil . 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 Kp dikurangi untuk menghindari kondisi overshoot besarnya Kp aktual dapat dituliskan dalam bentuk persamaan menjadi Kp(aktual)= Kp (sebelum) -1. Dari pengujian respon alat menggunakan umpan balik akan didapatkan grafik respon suhu. Dengan metode Ziegler-Nicholas grafik suhu terhadap waktu di analisa untuk mendapatkan nilai parameter Kp, Ki dan Kd yang menjadi dasar perhitungan algoritma PID. Pengujian respon alat menggunakan algoritma PID yang sudah ditambahkan faktor koreksi parameter Kp dan Ki akan didapatkan grafik respon suhu terhadap waktu. Pengujian ini menggunakan setting 36, 37, 38.

Dari pengujian ini akan diperoleh data respon sistem tiap setting dan data nilai standar deviasi untuk tiap setting. Dari pengujian respon alat terhadap perubahan gangguan berupa kenaikan suhu diperoleh data lamanya sistem alat untuk kembali ke keadaan stabil. Untuk mendapatkan nilai dari Kp, Ki dan Kd secara eksperimen dapat dilakukan melalui pengujian sistem loop terbuka. Dari hasil pengujian sistem loop terbuka didapatkan grafik respon sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.9 dimana parameter Kp, Ki dan Kd berdasarkan turunan pada Metode ZN



Gambar 2.9 Grafik Loop Tertutup

Dari kurva pengujian loop tertutup sebagaimana ditunjukkan Gambar 2.9, diperoleh nilai D = 0,753s dan nilai T = 160 s. Sesuai dengan metode PID ZN, besarnya konstanta Kp, Ki dan Kd dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$K_p = \frac{1,2 T}{D} = 255$$

$$K_i = \frac{K_p}{T} = 1,593$$

$$K_d = K_p * T = 405$$

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 0.06-0.12%. Adanya faktor koreksi untuk nilai Kp 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 Kp yang diberikan. Keadaan stabil dari sistem dapat dicapai dalam waktu yang relatif singkat sekitar 360 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.

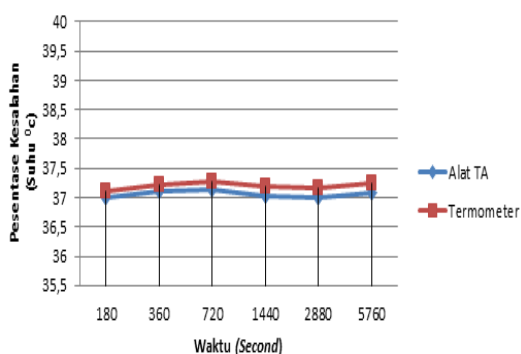
2.7 Perancangan Pengujian

Setelah mengerjakan alat telah selesai, maka langkah berikutnya melakukan pengujian dengan beberapa proses yang dibutuhkan. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui kinerja dari pembuatan alat dan memastikan masing-masing bagian dari seluruh rangkaian alat telah berfungsi sesuai apa yang diharapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran

Dalam pengukuran suhu inkubator bakteri, pengujian ini dilakukan dengan membandingkan suhu alat dengan suhu termometer. Berikut Gambar 3.1 grafik dari hasil perbandingan antara Termometer dengan Alat yang telah dirancang.



Gambar 3.1 Grafik Persentase Kesalahan Suhu

Berdasarkan pada grafik pada Gambar 3.1 menunjukkan hasil analisis pengukuran alat inkubator bakteri bahwa pengendali suhu yang telah dirancang menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu jarak terbacanya suhu pada alat dan termometer perbedaan suhu diakibatkan karena peletakan sensor yang berbeda.

Dari hasil analisis alat tersebut bisa dikatakan bahwa suhu yang dipakai telah mendapatkan nilai akurasi yang baik yaitu 37,06°C dengan menggunakan pengendali suhu PID. Sehingga pengendali suhu yang dipakai sesuai dengan yang diinginkan. Dan nilai kesalahan pada alat inkubator bakteri berdasarkan SOP maksimal 3%. Sedangkan nilai persentase kesalahan alat TA sebesar 0,35%, maka dapat dinyatakan alat tersebut layak pakai.

3.2 Pengukuran Loop Tertutup dan Loop Terbuka

Dalam pengukuran suhu inkubator bakteri, pengujian dilakukan dengan membandingkan loop tertutup dan loop terbuka. Pengujian ini dilakukan setiap 30s sekali sebanyak 30 kali pengujian. Tabel 3.1 menunjukkan hasil pengukuran suhu yang dilakukan sebanyak 30 kali pengujian

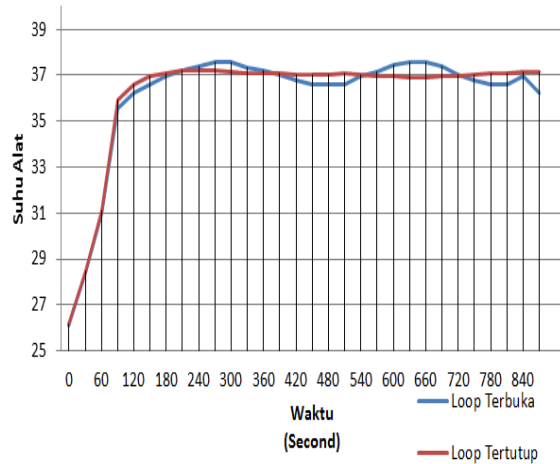
Tabel 3.1 Pengukuran Suhu berdasarkan waktu

No.	Waktu (Second)	Loop Tertutup °C	Loop Terbuka °C
1.	0	26.13	26.19
2.	30	28.44	28.51

Laniut
Laniut

No.	Waktu (Second)	Loop Tertutup °C	Loop Terbuka °C
3.	60	31.00	31.13
4.	90	35.54	35.94
5.	120	36.25	36.62
6.	150	36.62	36.94
7.	180	36.94	37.06
8.	210	37.19	37.19
9.	240	37.38	37.19
10.	270	37.60	37.19
11.	300	37.60	37.13
12.	330	37.31	37.06
13.	360	37.19	37.06
14.	390	37.00	37.06
15.	420	36.81	37.00
16.	450	36.62	37.00
17.	480	36.62	37.00
18.	510	36.62	37.06
19.	540	36.94	37.00
20.	570	37.13	36.94
21.	600	37.44	36.94
22.	630	37.60	36.88
23.	660	37.60	36.88
24.	690	37.38	36.94
25.	720	37.00	36.94
26.	750	36.81	37.00
27.	780	36.62	37.06
28.	810	36.62	37.06
29.	840	36.94	37.13
30.	870	36.25	37.13

Berdasarkan Tabel 3.1 pengukuran dengan membandingkan hasil suhu dalam waktu 30s selama 30 kali. Berikut merupakan Gambar 3.2 grafik yang menunjukkan hasil perbandingan antara dua metode yang dilakukan.



Gambar 3.2 Grafik Loop Tertutup dan Terbuka

Berdasarkan pada Tabel 31 dan grafik pada Gambar 3.2 menunjukkan hasil analisis pengukuran alat inkubator bakteri menggunakan loop tertutup dan loop terbuka dengan percobaan sebanyak 30 kali. Terjadi perbedaan pembacaan suhu dikarenakan loop terbuka tidak menggunakan nilai feedback untuk menjadi nilai inputan. Sedangkan loop tertutup menggunakan nilai yang telah di keluarkan menjadi nilai inputan pada saat proses pembacaan suhu berlangsung. Jadi hasil dari percobaan dapat dikatakan telah sesuai menggunakan dua metode yang di pakai pada pengendali suhu Ziegler Nichols. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Metode loop tertutup lebih mendekati nilai akurasiya dibandingkan loop tertutup jauh mendekati nilai keakurasiya.

4. Kesimpulan

Dari pembahasan alat diatas, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Sensor suhu DS 18B20 dengan driver heater MOC3041 mampu mengendalikan suhu hingga stabil 37°C .
- b. proses perancangan pengendalian suhu sesuai dengan prinsip metode loop terbuka dan loop tertutup Ziegler Nicholas dengan rata-rata nilai suhu 37,06°C .

- c. Metode paling mendekati untuk nilai keakurasian yaitu metode loop tertutup.