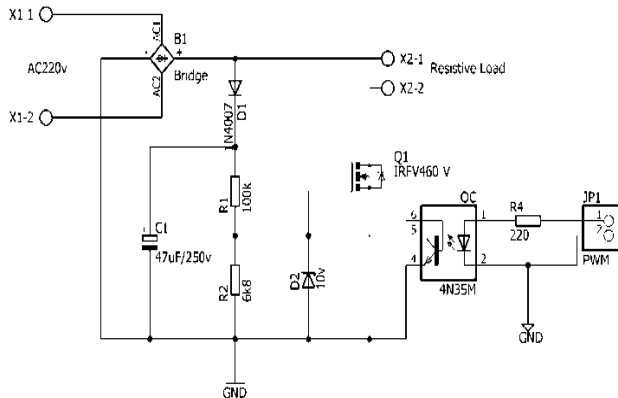


nilai lebih kecil dibandingkan tegangan *threshold* tetapi lebih besar dari 0 Volt maka kondisi MOSFET termasuk daerah *cut off* akan tetapi MOSFET tidak sepenuhnya mati dan juga tidak dapat dikatakan sepenuhnya menyala.



Gambar 3. Rangkaian pengendali tegangan heater

2.4. Penalaan PID

Untuk mengetahui karakteristik proses dari sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* dapat dilakukan dengan menganalisis respon sistem *open loop*. Pada awalnya *plant* diberikan masukan sinyal control (*co*) pada heater sebesar 65%, setelah sistem stabil sinyal kendali (*co*) dinaikkan 10% menjadi 75%. Respon sistem terhadap *bunt test* 65-75% yang dihasilkan oleh *plant dry heat sterilizer* ditunjukkan pada Gambar 4.

Jenis Kendali	K_p	T_i	T_d
PID	$1,2T$	$2L$	$0,5 L$
	$\frac{KL}{1,8 * 60}$	$=2 * 60$	$=0,5 * 60$
	$= \frac{1,2 * 1011}{1,8 * 60}$	$= 120$	$= 30$
	$= 11,23$		

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, parameter proses dapat ditentukan dalam persamaan (1), (2), dan (3).

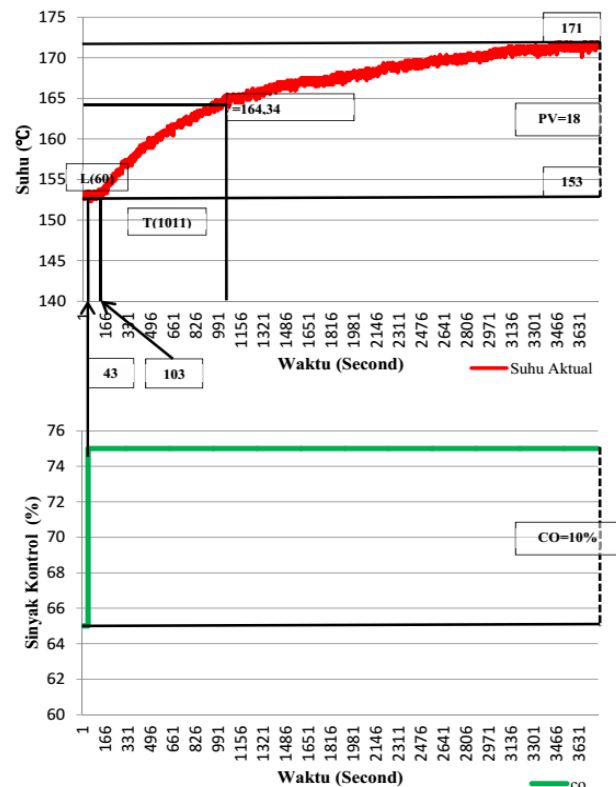
$$L = 103 - 43 = 60 \quad (1)$$

$$T = 63\% * 18 = 11,34 \quad (2)$$

$$T = 11,34 + 153 = 164,34$$

$$T_{suhu\ 164,34^\circ C} = 1071 - 60 = 1011$$

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO} = \frac{171 - 153}{75 - 65} = \frac{18}{10} = 1,8 \quad (3)$$



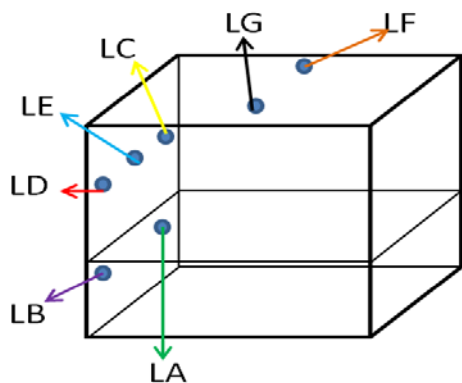
Gambar 4. Grafik respon sistem *open loop* 10%

Tabel 3. Konversi suhu digital sensor *thermocouple* tipe K modul MAX6675

Dari parameter-parameter proses diatas maka dapat dihitung parameter *Proportional, Integral, Derivative* (PID) dari *plant dry heat sterilizer* dengan menggunakan metode penalaan *Ziegler Nichols* sesuai pada Tabel 3.

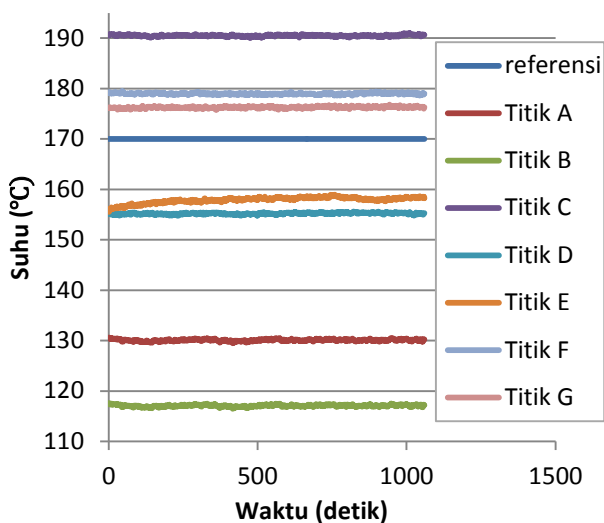
2.5. Perancangan Pemetaan Suhu

Perancangan pemetaan suhu dilakukan untuk menentukan posisi sensor suhu diletakkan pada titik dimana suhu aktual *chamber plant dry heat sterilizer* bersuhu sama atau lebih besar dari suhu yang diindikasikan pada sistem pengendalian suhu [9]. Sehingga perancangan pemetaan suhu dilakukan untuk mencari titik terendah dari beberapa titik pengamatan pada suhu dan waktu tertentu. Peletakan sensor metode *temperature mapping of hot air oven (dry heat sterilizer)* berdasarkan ref. [5].



Gambar 5. Skematik lokasi sensor pemetaan suhu

Gambar 5 menunjukkan representasi skematik posisi sensor. Pada perancangan penelitian untuk penentuan titik dari *temperature mapping* dengan lokasi titik dibawah rak tidak digunakan karena melalui pengujian diketahui adanya perbedaan suhu yang sangat jauh saat dibandingkan dengan pembacaan termometer digital yang diletakkan diatas rak. Pengujian *temperature mapping* yang dilakukan menggunakan metode kendali PID pada sensor nomor TC1 dengan referensi suhu 130°C.



Gambar 6. Grafik pemetaan suhu *plant* tanpa beban

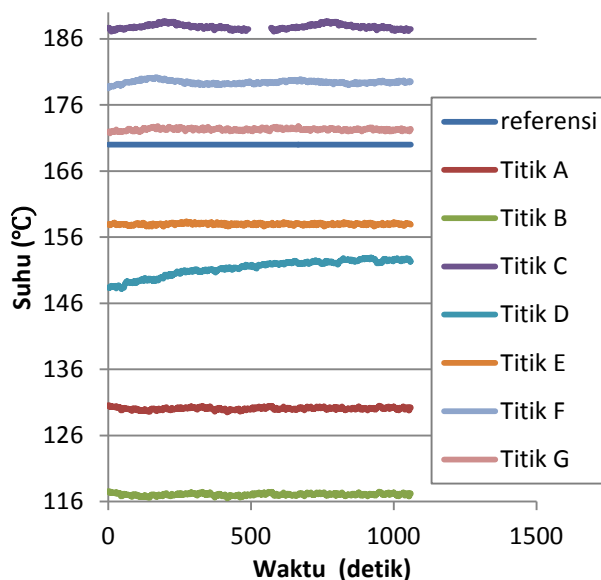
2.5.1. Tanpa Beban

Berdasarkan pada pengujian *temperature mapping* pada suhu 170°C untuk *plant dry heat sterilizer* tanpa beban maka didapat hasil suhu terendah dipantau pada sensor nomor TC4 sebesar 154,79°C, suhu maksimum pada sensor nomor TC3 sebesar 188,68°C, sedangkan rata-rata suhu terendah pada sensor nomor TC4 yaitu 155,2°C.

Sehingga didapatkan hasil posisi sensor LD dengan sensor nomor TC4 mencapai kriteria dalam pengujian *temperature mapping* dengan tanpa beban. Pengujian tanpa beban ditunjukkan pada Gambar 6.

2.5.2. Dengan Beban

Berdasarkan pada pengujian *temperature mapping* pada suhu 170°C untuk *plant dry heat sterilizer* tanpa beban maka didapat hasil suhu terendah dipantau pada sensor nomor TC4 sebesar 148,14°C, suhu maksimum pada sensor nomor TC3 sebesar 191,03°C, sedangkan rata-rata suhu terendah pada sensor nomor TC4 yaitu 151,34°C. Sehingga didapatkan hasil posisi sensor LD dengan sensor nomor TC4 mencapai kriteria dalam pengujian *temperature mapping* dengan beban. Pengujian dengan beban ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik pemetaan suhu *plant* dengan beban

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Sensor

Pengujian sensor *thermocouple* tipe k modul MAX6675 dilakukan dengan cara mengukur suhu pada *plant dry heat sterilizer* yang dibandingkan dengan pembacaan termometer digital tipe K. Pembacaan suhu pada *plant dry heat sterilizer* dalam pengujian ini dibatasi pada kisaran suhu 30°C sampai dengan 180°C ditunjukkan pada Tabel 4. Pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa suhu yang terdeteksi sensor *thermocouple* tipe K dengan modul MAX6675 sudah sesuai dengan standardisasi dengan nilai *galat*

0,95°C [9]. Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa suhu yang terdeteksi sensor *thermocouple* tipe K dengan modul MAX6675 sudah sesuai dengan standardisasi dengan nilai galat 0,95°C [9].

Tabel 3. Hasil pengujian suhu sensor *thermocouple* dibandingkan dengan termometer

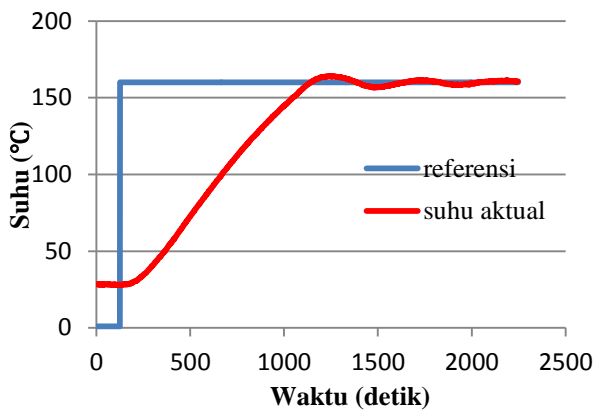
Suhu Termometer (°C)	Sensor Thermocouple Tipe K MAX6675	Galat
30	31,4	-1,4
40	38,75	1,25
50	48,25	1,75
60	57,75	2,25
70	67,75	2,25
80	78	2
90	88,25	1,75
110	108,75	1,25
120	119	1
130	129,15	0,85
140	139,25	0,75
150	149,5	0,5
160	159,59	0,41
170	169,67	0,33
180	179,7	0,3
190	189,73	0,27
200	199,75	0,25
Galat rata-rata	31,4	0,95

3.2. Pengujian Sistem Pengendalian Suhu Terhadap Referensi yang ditentukan

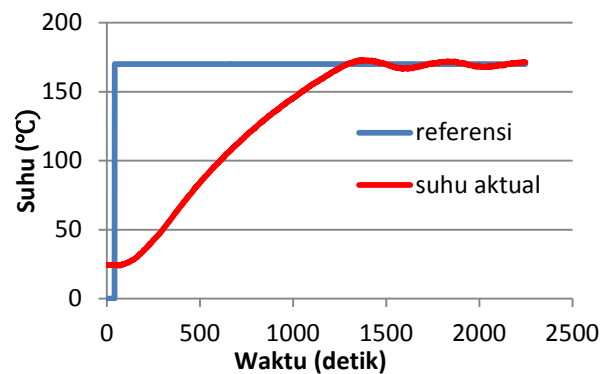
Pengujian kendali PID dilakukan untuk mengetahui respon sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* terhadap nilai referensi suhu yang diberikan. Pada penelitian ini menggunakan kendali PID dengan nilai parameter PID ($K_p = 11,23, K_i = 120, dan K_d = 30$) didapat dari proses FOPDT dengan metode tuning Zeigler Nichols.

3.2.1. Tanpa Beban

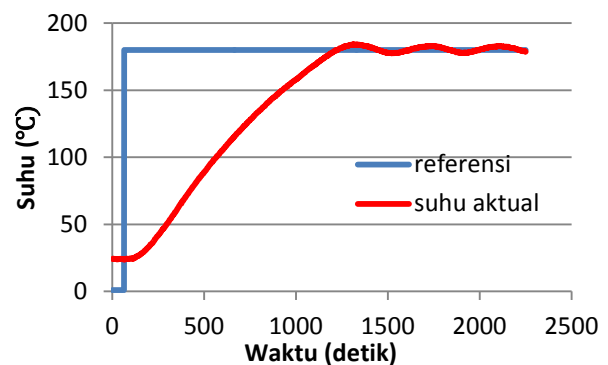
Respon sistem sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* tanpa beban dengan memberikan nilai referensi suhu sterilisasi yaitu 160°C, 170°C, dan 180°C ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8. Grafik respon *plant* tanpa beban referensi 160°C



Gambar 9. Respon *plant* tanpa beban referensi 170°C



Gambar 10. Respon *plant* tanpa beban referensi 180°C

Dari ketiga hasil pengujian sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* tanpa beban disimpulkan

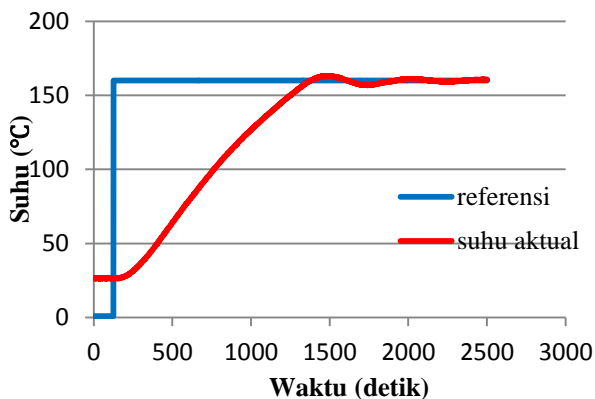
bahwa semakin besar referensi suhu yang diberikan, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan stabil akan semakin lama. Referensi suhu 160°C dengan suhu awal 26°C membutuhkan waktu naik (*Rise Time*) 957 detik, pada referensi suhu 170°C dengan suhu awal 24,5°C membutuhkan waktu naik (*Rise Time*) 1004 detik, pada referensi suhu 180°C dengan suhu awal 26°C membutuhkan waktu naik (*Rise Time*) 1102 detik. Data parameter unjuk kerja pengujian dengan referensi pada *plant* tanpa beban ditunjukkan pada pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik tanggapan sistem pengendalian tanpa beban

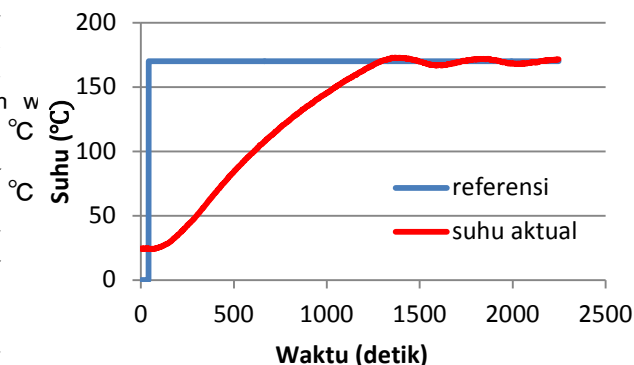
Suhu Awal (°C)	Referensi (°C)	Waktu naik T_r (detik)	Waktu Penetapan T_s (detik)
26	160	957	1359
24	170	1004	1354
24	180	1102	1296

3.2.2. Dengan Beban

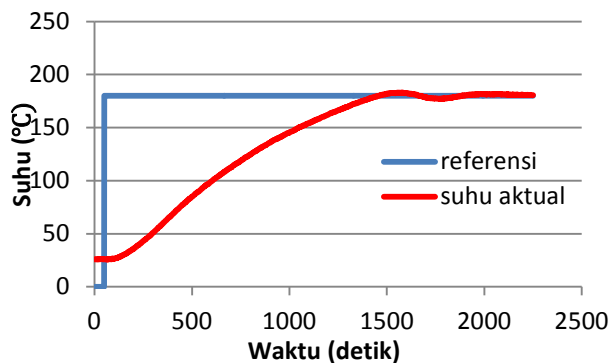
Respon sistem sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* tanpa beban dengan memberikan nilai referensi suhu sterilisasi yaitu 160°C, 170°C, dan 180°C ditunjukkan pada Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.



Gambar 11. Respon *plant* dengan beban referensi 160°C



Gambar 12. Respon *plant* dengan beban referensi 170°C



Gambar 13. Respon *plant* dengan beban referensi 180°C

Dari ketiga hasil pengujian sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* dengan beban disimpulkan bahwa semakin besar referensi suhu yang diberikan, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan stabil akan semakin lama. Jika suhu awal sama, maka referensi suhu 160°C dengan suhu awal 26°C membutuhkan waktu naik 1209 detik, pada referensi suhu 170°C dengan suhu awal 24,5°C membutuhkan waktu naik 1193 detik, pada referensi suhu 180°C dengan suhu awal 26°C membutuhkan waktu naik 1348 detik. Data parameter unjuk kerja pengujian dengan referensi pada *plant* tanpa beban ditunjukkan pada pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik tanggapan sistem pengendalian dengan beban

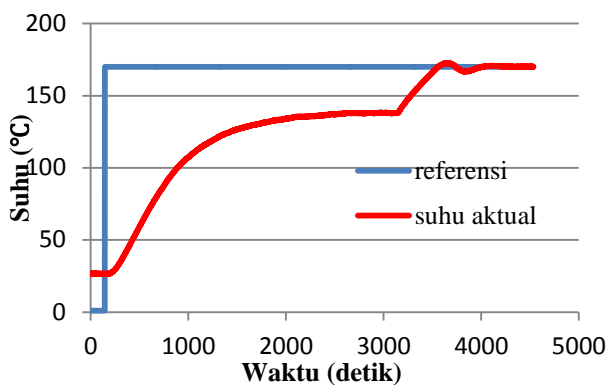
Suhu Awal (°C)	Referensi (°C)	Waktu naik T_r (detik)	Waktu Penetapan T_s (detik)
26	160	1209	1618
24,5	170	1193	1580
26	180	1348	1562

3.3. Pengujian Terhadap Gangguan

3.3.1. Gangguan Kontinyu

Pengujian gangguan kontinyu sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* dengan pemberian referensi suhu 170°C dilakukan dengan cara membuka pintu sedikit (20° dari engsel pintu *plant*) secara terus menerus sampai keadaan suhu *plant* mencapai kondisi *steady state*. Setelah itu, pintu *plant* ditutup untuk menguji kemampuan kendali PID dalam mengikuti referensi suhu yang diberikan pada referensi.

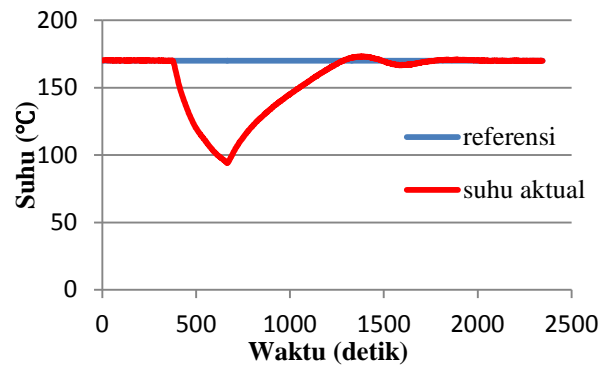
Pada Gambar 14 terlihat bahwa respon suhu sistem pengendalian suhu dengan gangguan terus menerus untuk referensi 170°C sulit untuk mencapai kondisi stabil pada referensi yang diberikan. Saat respon suhu mencapai 138°C pada waktu 3141 detik, maka gangguan diakhiri yaitu dengan menutup pintu *plant*. Setelah pintu ditutup rapat, respon suhu mulai naik mengikuti referensi dan mencapai referensi memerlukan waktu 415 detik, dan pada detik ke 3660 suhu sudah mencapai keadaan *steady state*.



Gambar 14. Grafik respon *plant* dengan gangguan kontinyu

3.3.2. Gangguan Sesaat Tanpa Beban

Respon sistem pengendalian suhu terhadap gangguan sesaat pada *plant dry heat sterilizer* tanpa beban dengan referensi 170°C ditunjukkan pada Gambar 15. Gangguan sesaat berupa pintu dibuka pada keadaan *steady state* diberikan pada detik ke-377, selama 300 detik suhu sistem berangsur-angsur menurun sampai suhu terendah yaitu 94°C. Setelah pintu *plant* ditutup, maka respon suhu sistem mulai mengikuti referensi dan mencapai referensi (170°C) yang ditentukan oleh operator memerlukan waktu 616 detik, dan pada detik ke-1368 respon sistem pengendali suhu sudah mencapai keadaan *steady state*.

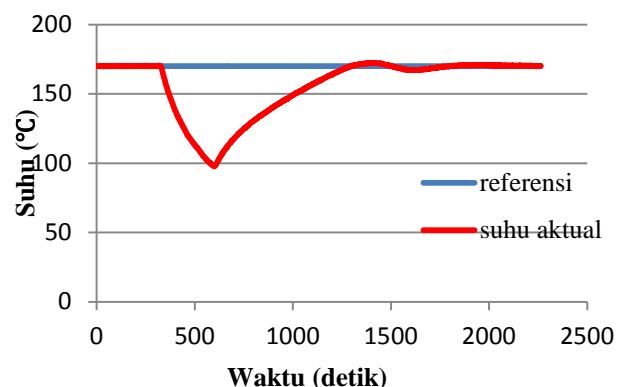


Gambar 15. Grafik respon *plant* tanpa beban dengan gangguan sesaat

3.3.3. Gangguan Sesaat Dengan Beban

Pengujian gangguan sesaat tanpa beban sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* dengan pemberian suhu 170°C, pemberian gangguan sesaat dilakukan dengan cara membuka pintu *plant* selama 300 detik, setelah itu pintu *plant* ditutup kembali.

Gambar 16 menunjukkan respon sistem pengendalian suhu terhadap gangguan sesaat pada *plant* tanpa beban dengan referensi 170°C. Gangguan sesaat diberikan pada detik ke-326, selama 300 detik suhu sistem berangsur-angsur menurun sampai suhu terendah yaitu 97,8°C. Setelah pintu *plant* ditutup, maka respon suhu sistem mulai mengikuti referensi dan mencapai referensi memerlukan waktu 693 detik, dan pada detik ke-1402 respon sistem pengendali suhu sudah mencapai keadaan *steady state*.



Gambar 16. Grafik respon *plant* dengan beban dengan gangguan sesaat

4. Kesimpulan

Telah berhasil dirancang sistem pengendalian suhu pada *plant dry heat sterilizer* dengan metode *Ziegler-Nichols* pada aksi kendali dengan parameter PID ($K_p=11,23$,

$T_i=120$, dan $T_d=30$) dapat bekerja dengan baik dan mampu mempertahankan suhu referensi (160°C , 170°C , dan 180°C) baik pada pengujian tanpa beban maupun pengujian dengan beban.

Referensi

- [1] S. D. Moh. Yamin, R. Basamalah, "Potensi Pemaparan LED Inframerah untuk Fotoinaktivasi Bakteri *Bacillus subtilis*," Bachelor's Projects, Universitas Airlangga, vol. 17, no. 1, 2015.
- [2] W. A. Rutala and D. J. Weber, "Disinfection and Sterilization in Health Care Facilities : What Clinicians Need to Know," *Healthcare Epidemiology invited article*, vol. 39, no. Cdc, 2004.
- [3] G. M. Practice and P. Approximate, *5.8 Methods of sterilization: The International Pharmacopoeia*, 2016.
- [4] M. Biomed, DASAR UNTUK LABORATORIUM · KESEHATAN (*Manual of Basic Techniques for A Health Laboratory*), 2nd ed. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC, 2011.
- [5] I. K. Purohit and N. V. Gupta, "Temperature Mapping of Hot Air Oven (Dry Heat Sterilizer)," *Journal of Pharmacy Research*, vol. 11, no. 2, pp. 120–123, 2017.
- [6] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Prentice Hall, 2010.
- [7] I. Setiawan, KONTROL PID UNTUK PROSES INDUSTRI. Surabaya: PT. Elex Media Komputindo, 2008.
- [8] maxim integrated, "Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple- to-Digital Converter (0°C to $+1024^{\circ}\text{C}$)." Data Sheet Maxim Integrated Products, p. 8, 2014.
- [9] AAMI, "Dry heat (*heater* air) sterilizers." Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Arlington, United States of America, p. 43, 2004.