

Rancang Bangun Pengendalian Suhu Pada Alat Pengering Belimbing Wuluh Dengan Menggunakan Pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*)

Mohd. Rafli¹, Alfatirta Mufti², Fahry Heltha³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Banda Aceh, 23111, Indonesia

¹mohd.rafl@mhs.unsyiah.ac.id

²alfatirta.ee@unsyiah.ac.id

³fheltha@gmail.com

Abstrak— Belimbing wuluh yang sudah melalui proses pengeringan dan penggaraman (*Asam Sunti*) merupakan suatu produk yang dijadikan sebagai bumbu dapur khas dari Aceh. Proses pengeringan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dari belimbing wuluh sesuai dengan kriteria dari *Asam Sunti* (memiliki berat akhir 30% dari berat awal). Namun proses pengeringannya masih menggunakan metode konvensional dengan pemanfaatan sinar matahari secara langsung. Pengeringan dengan metode tersebut dikatakan kurang efisien karena ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi seperti faktor cuaca dan waktu karena cahaya matahari yang didapatkan tidak 24jam. Oleh karena itu, sangat diperlukannya suatu alat yang dapat mengeringkan belimbing wuluh tanpa dipengaruhi oleh faktor-faktor yang disebutkan di atas. Pada penelitian sebelumnya, system pengeringan masih menggunakan metode *control on-off* sebagai pengendalinya yang membuat sistem tidak dapat stabil pada *setpoint* yang diberikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah alat yang dapat mengendalikan suhu secara otomatis dengan menggunakan *PID Controller (Proportional-Integral-Derivative)* yang dapat mengendalikan pemanas agar suhu tetap stabil pada *setpoint* 45°C. Penelitian ini difokuskan pada perancangan sebuah bangun ruang alat pengering yang dapat secara otomatis mengendalikan suhu stabil pada *setpoint* 45°C yang akan mengendalikan AC Light Dimmer dengan memperoleh data suhu dari *sensor DHT22*. Perancangan bangun ruang menggunakan pengendali PID ini telah berhasil dilakukan dengan menggunakan metode Tuning Ziegler Nichols. Sehingga diperoleh nilai parameter pengendali PID yaitu $K_p = 56,90$, $K_i = 1,4975$, dan $K_d = 540,6$. Dengan demikian, setelah diterapkannya pengendali PID pada Mikrokontroler ATmega2560, sistem pengeringan belimbing wuluh memiliki respon yang dapat mempertahankan suhu stabil pada *setpoint* 45°C dengan rise time 13 menit, Overshoot 1,5%, steady state 29,3 menit, dan steady state error 0%, sehingga sistem dapat bekerja sangat baik pada *setpoint* 45°C serta dalam tahan terhadap gangguan.

Kata Kunci— pengendali PID, *tuning Ziegler Nichols*, kendali suhu, pengering belimbing wuluh.

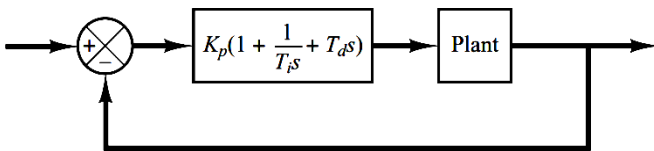
I. PENDAHULUAN

Belimbing wuluh (*Averrhoa Bilimbi L*) adalah sejenis tanaman buah dari keluarga *Oxalidaceae*, marga *Avverrhoa*. Tanaman belimbing dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu belimbing buah (*Avverrhoa Carambola L*) dan belimbing sayur (*Avverrhoa Bilimbi L*) atau yang sering dikenal dengan belimbing wuluh [1]. Karena rasanya yang sangat asam, sangat jarang untuk sebagian orang mengonsumsinya secara langsung [2]. Di Aceh, buah belimbing wuluh sangat banyak digunakan sebagai bumbu masakan, baik itu dalam bentuk segar, maupun dalam bentuk olahan. Belimbing Wuluh yang sudah melalui proses pengeringan dan penggaraman (*Asam Sunti*) merupakan suatu produk yang dijadikan sebagai bumbu dapur yang khas dari Aceh. Banyak masakan Aceh yang menggunakan *Asam Sunti* sebagai salah satu bumbu utamanya seperti *Kuah Asam Keueung*, *Asam Eungkot Kareng*, *Asam Udeung*, *Keumamah*, dan lainnya. [3]

Di Aceh, Proses pengeringan buah belimbing wuluh untuk menghasilkan *Asam Sunti* umumnya masih menggunakan metode tradisional dengan pemanfaatan sinar matahari secara langsung. Pengeringan dengan metode ini dikatakan kurang efisien karena adanya beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pengeringan, misalnya faktor cuaca (mendung atau hujan) dan faktor lamanya proses pengeringan yang disebabkan oleh cahaya matahari yang didapatkan tidak penuh 24 jam. Berdasarkan hasil wawancara dari narasumber yang terkait dengan produksi *Asam Sunti*, jika keadaan cuaca sangat mendukung, maka proses pengeringan dapat berlangsung selama 6-7 hari. Sedangkan jika tidak, dapat berlangsung hingga 10 hari atau lebih. Selain itu, metode tradisional juga dapat menyebabkan tidak higienisnya *Asam Sunti* karena proses pengeringan yang dilakukan di tempat terbuka yang dapat menyebabkan *Asam Sunti* terpapar debu-debu yang ada dilingkungan secara langsung. [4].

Oleh karena itu, untuk mempercepat proses produksi dari *Asam Sunti* tersebut, sangat diperlukannya suatu perangkat atau alat yang dapat mengeringkan belimbing wuluh tanpa dipengaruhi oleh faktor-faktor yang disebutkan di atas. Namun pada penelitian tersebut, masih menerapkan metode

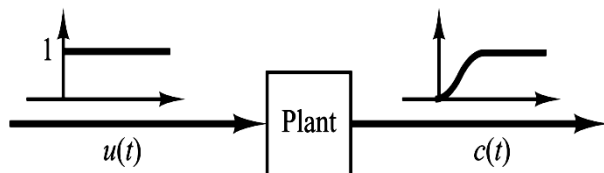
control on-off yang membuat respon sistem tidak stabil pada setpoint yang diberikan. Sehingga, pada penelitian ini, dibuat sebuah alat yang dapat mengendalikan suhu agar tetap stabil untuk proses pengeringan belimbing wuluh dengan menggunakan pengendali PID (Proportional Integral Derivative Controller) sebagai pengendali kestabilan suhu tetap stabil pada setpoint 45°C. Dengan demikian diharapkan dapat memiliki respon sistem yang lebih cepat dan dapat meminimalkan kesalahan. Blok diagram dari PID Controller yang digunakan sebagai pengendali suhu pada alat pengering belimbing wuluh yaitu seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram PID

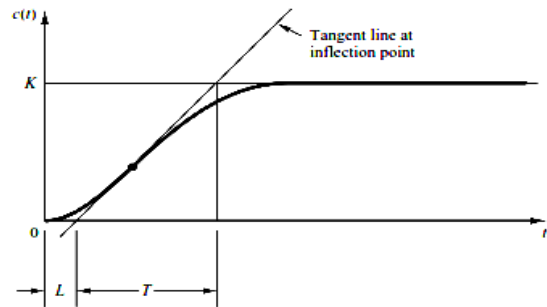
Pengendali PID merupakan sebuah kontroler mekanisme umpan balik yang biasanya kontroler PID tersebut sering dipakai pada suatu sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinu menghitung nilai kesalahan sebagai beda antara SP (setpoint) yang diinginkan dan variabel proses terukur (PV : Proses Variable). Kontroler mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan (error) setiap waktu dengan penyetelan variabel kontrol, seperti Control Valve, damper, atau daya pada elemen pemanas, ke nilai baru (MV : Manipulated Variable) [5]. Tujuan penggunaan pengendali PID pada penelitian ini adalah untuk mempercepat respon (rise time) dari sistem, meminimalkan overshoot, menghilangkan steady state error, dan tetap stabil pada setpoint yang diberikan dengan mengatur (tuning) parameter kendalinya. Parameter kendali ini tentunya harus disesuaikan dengan sistem yang telah dibuat, oleh karena itu, untuk mendapatkan parameter kendalinya, pada penelitian ini digunakan metode Tuning Ziegler Nichols.

Penentuan parameter pengendali PID (K_p , K_i , dan K_d) menggunakan metode tuning Ziegler Nichols yaitu dengan melihat dan menganalisis kurva reaksi berbentuk S yang dihasilkan oleh sistem ketika diberikan input step. Metode ini mengharuskan kita untuk mendapatkan nilai L dan T pada kurva reaksi [6]. Berikut menunjukkan respon dari sistem yang didapatkan secara eksperimental saat diberi masukan berupa input step, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Respon sistem terhadap masukan berupa unit step

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa saat sistem diberikan input step $u(t)$, memiliki keluaran kurva reaksi berbentuk S $c(t)$. Dengan adanya kurva reaksi tersebut, maka dicari nilai L dan T berdasarkan kurva. Nilai L dan T pada kurva reaksi ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. Kurva reaksi berbentuk huruf S

Berdasarkan kurva reaksi berbentuk S pada Gambar 3 di atas, didapatkan nilai L (time delay) dan T nya (time constant) dengan menggambarkan sebuah garis tangent pada titik perubahan konstan dari kurva dan dibatasi oleh perpotongan garis tangent dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 diatas. Jika sudah didapatkan nilai L dan T nya, maka dapat dihitung kemudian parameter pengendali PID (K_p , K_i , dan K_d) dengan menggunakan tabel aturan tuning Ziegler Nichols yaitu ditunjukkan seperti pada Table 1 berikut.

TABLE I
ATURAN TUNING ZIEGLER NICHOLS BERDASARKAN RESPON INPUT STEP

Type Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	0,9 (T/L)	L / 0,3	0
PID	1,2 (T/L)	2 (L)	0,5 (L)

Setelah didapatkan nilai K_p , T_i , dan T_d , kemudian dapat disubstitusikan kedalam persamaan 1 (persamaan pengendali PID) untuk didapatkan nilai K_p , K_i , dan K_d nya..

$$G_{cS} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \tag{1}$$

Sehingga berdasarkan persamaan 1, didapatkan persamaan 2 dan 3.

$$K_i = K_p / T_i \tag{2}$$

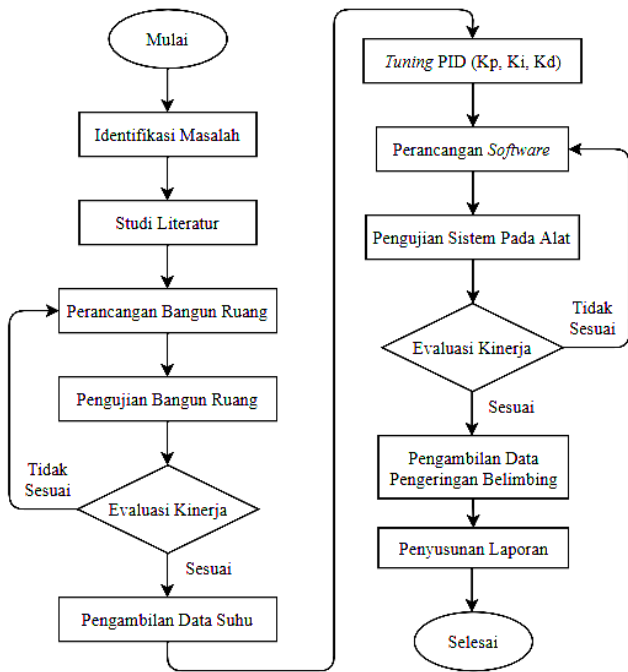
$$K_d = K_p \cdot T_d \tag{3}$$

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi identifikasi masalah, perancangan bangun ruang, analisa kerja, penerapan PID, dan pengambilan data untuk

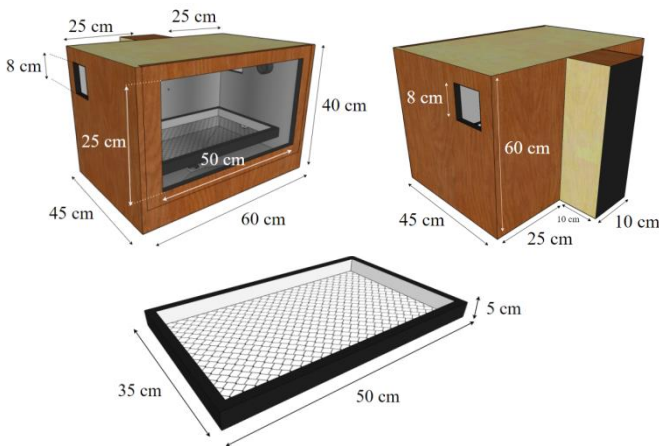
penyusunan laporan. Untuk lebih jelas, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir tahapan penelitian

B. Perancangan hardware

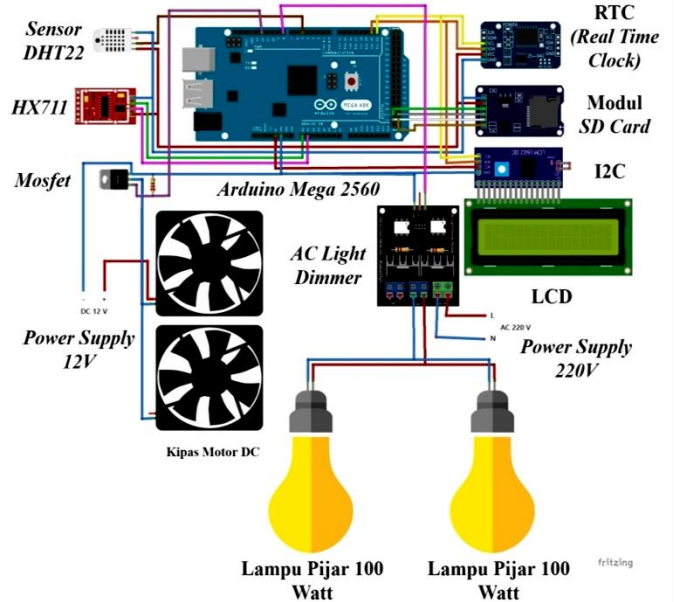
Pada tahap perancangan *hardware*, terlebih dahulu dilakukan perancangan terhadap dimensi dari bangun ruang yang meliputi bentuk, ukuran bangun ruang, dan ukuran wadah. Berikut merupakan gambar desain dari bangun ruang.



Gambar 5. Desain dimensi bangun ruang

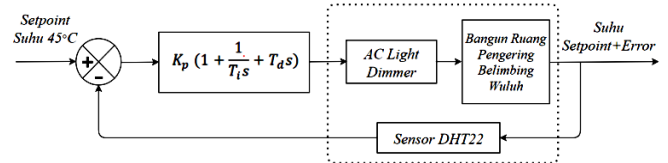
Gambar 5 diatas merupakan gambar perancangan dari bangun ruang yang mana sisi depan memiliki ukuran panjang 60 cm, tinggi 40 cm, dan lebar 45 cm. Sisi belakang memiliki ruang elektrik dengan ukuran 10 cm x 10 cm, dan terdapat lubang untuk kipas motor DC pada sisi kiri dan kanan bangun ruang dengan ukuran 8 cm x 8 cm. Sedangkan

wadah belimbing memiliki dimensi ukuran panjang 50 cm, tinggi 5 cm, dan lebar 35 cm. Bahan untuk pembuatan bangun ruang tersebut menggunakan *Blockboard* yang dilapisi HPL berwarna agar terlihat menarik, wadah terbuat dari jaring aluminium, dan setiap sisi dari bangun ruang dilapisi dengan aluminium agar dapat meningkatkan panas. Untuk rangkaian dari komponen-komponen elektronika yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Rangkaian desain sistem

Pada Gambar 6 diatas, dapat dilihat bahwa komponen utama yang mengendalikan PID yaitu Mikrokontroler ATmega2560, *sensor* DHT22 sebagai *feedback* dari pengendali PID, dan lampu pijar yang dikendalikan oleh *AC Light Dimmer* sebagai *output* dari pengendali PID. Sedangkan kipas pada rangkaian tersebut digunakan sebagai pengatur kelembaban agar tidak terlalu tinggi yang bekerja secara *on-off*. Begitupun dengan *Sensor LoadCell*, yang pada rangkaian tersebut digunakan sebagai acuan dari berat akhir belimbing wuluh yang dapat membuat alat bekerja atau mati (selesai). Sedangkan komponen pendukung lainnya seperti LCD yang digunakan sebagai *monitoring*, Modul *MicroSD* sebagai *data logger*, RTC DS3231 digunakan sebagai modul waktu dan tanggal untuk keperluan dalam *data logger*. Berikut menunjukkan gambar blok diagram dari pengendali PID pada alat pengerin belimbing.

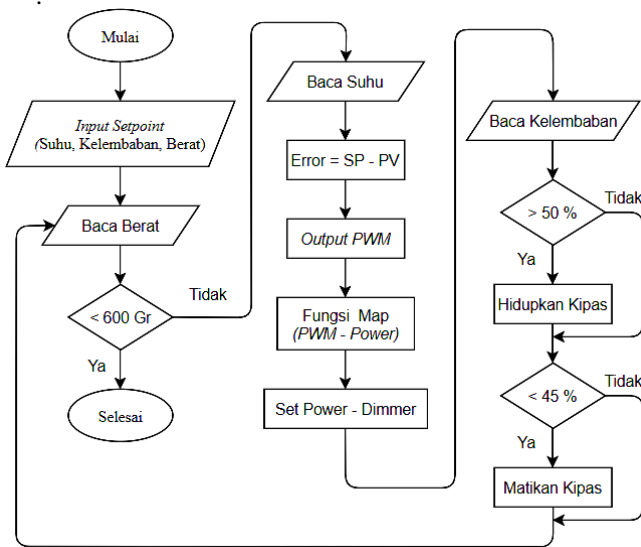


Gambar 7. Blok diagram Pengendali PID pada sistem.

Gambar 7 diatas menunjukkan desain blok diagram dari PID yang terdiri dari *Actuator*, *Plant*, dan *Sensor*. *Actuator* adalah *output* yang dikendalikan oleh pengendali PID yang mana dalam hal ini *actuator* adalah *AC Light Dimmer*. *Plant* adalah objek yang dikendalikan oleh pengendali PID yang dalam hal ini *plant* adalah Bangun Ruang pengering belimbing wuluh. Dan *Sensor* nya adalah alat yang mendeteksi perubahan besaran yang juga berfungsi sebagai *feedback* dari pengendali PID yang dimaksud dalam besaran ini adalah data suhu pada bangun ruang pengering belimbing wuluh.

C. Perancangan Software

Perancangan *software* pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan bahasa pemrograman C++ yang didukung oleh Mikrokontroller ATmega2560 sebagai pusat pengendali dari semua komponen-komponen elektronika yang digunakan. Diagram alir perancangan perangkat lunak pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Diagram alir perancangan software.

Pada Gambar 8 diatas, menunjukkan bahwa *input* dari sistem yaitu *Setpoint* dari suhu, *setpoint* dari kelembaban, dan *setpoint* dari berat. Nilai *setpoint* dari suhu yang diatur pada penelitian ini yaitu sebesar 45°C, kelembaban yaitu pada range 45 % - 50 %, dan berat akhir yang di *input* yaitu seberat 600 gram. Namun, yang menjadi *setpoint* untuk pengendali PID hanyalah suhu, karena pada alat ini, suhu yang dipertahankan pada *setpoint* 45°C, sedangkan kelembaban hanya diatur secara *on-off* agar tidak terlalu tinggi, dan berat akhir hanya menjadi acuan kapan sistem pada alat tersebut telah selesai atau tidak. Pada gambar diatas, juga dijelaskan bagaimana Pengendali PID dapat mengendalikan lampu melalui Dimmer, yang pada awalnya, pengendali PID akan memproses data ($Error = Setpoint - Proses Variable$), dan akan mengeluarkan *output* berupa PWM, yang selanjutnya akan dikonversi menjadi Power (*Duty Cycle*) dengan menggunakan fungsi Map. Sehingga

pengendali PID akan memberikan PWM yang sesuai agar lampu pijar menyala dengan panas sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Desain Sistem

Berikut merupakan hasil desain sistem dari rancang bangun alat pengering belimbing wuluh yang mana akan dilakukan pada penelitian ini. Pengendali PID yang telah dirancang nantinya akan diterapkan pada rancang bangun tersebut dengan meletakkan *sensor* suhu dan kelembaban DHT22 pada bagian sisi tengah atas bangun ruang, pemanas (lampu pijar 100 Watt) pada bagian sisi kiri dan sisi kanan bangun ruang, wadah akan digantung pada bagian sisi bawah bangun ruang yang juga dikaitkan pada *sensor LoadCell*, serta LCD akan diletakkan pada sisi depan bangun ruang. Berikut merupakan gambar hasil desain sistem dari bangun ruang yang telah dibuat.



Gambar 9. Hasil rancang bangun (a) Tampak Depan Kiri (b) Tampak Depan Kanan (c) Tampak Depan (d) Tampak Dalam

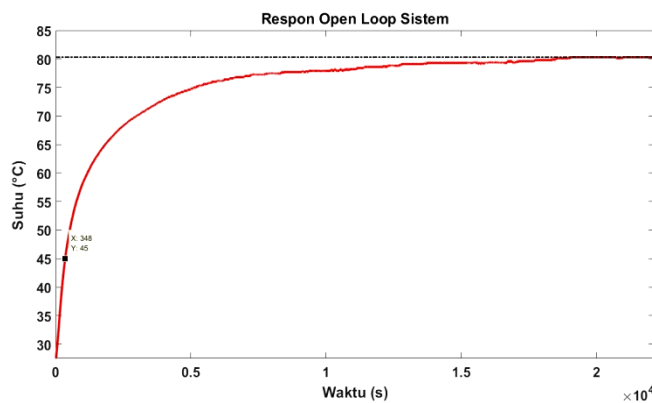
Gambar diatas menunjukkan hasil desain sistem yang telah dibuat. Bahan yang digunakan untuk membuat bangun ruang tersebut yaitu kayu *Blockboard* dan didalamnya dilapisi dengan seng aluminium pada seluruh sisi dari bangun ruang dengan tujuan agar dapat meningkatkan panas yang lebih, serta pada bagian luar dilapisi dengan HPL berwarna agar penampilan lebih menarik. Pada bangun ruang juga terdapat ruang elektrik pada bagian belakang yang digunakan untuk menempatkan komponen-komponen elektronika lainnya seperti *arduino*, *AC Light Dimmer*, Modul *sensor LoadCel* (HX711), dan lainnya yang digunakan pada penelitian ini.

B. Mekanisme Tuning kendali PID

Tuning kendali PID digunakan untuk mendapatkan parameter pengendali PID (K_p, K_i, K_d) yang sesuai dengan

sistem dan akan diterapkan kedalam sistem untuk dianalisa bagaimana respon dari sistem setelah diterapkannya pengendali PID tersebut. Karena pada penelitian ini menggunakan metode *tuning Ziegler Nichols*, maka terlebih dahulu diperlukan respon dari *open loop* nya yang digunakan sebagai kurva reaksi berbentuk S untuk mendapatkan nilai L dan T nya.

1) *Data Open Loop Sistem*: Tahap awal yang dilakukan yaitu mengambil data *open loop* suhu pada alat pengering belimbing wuluh yaitu dengan menghidupkan lampu pijar hingga suhu mencapai maksimal dan tidak mengalami perubahan lagi. Gambar 10 merupakan grafik dari respon data *open loop* sistem. Berdasarkan grafik tersebut, sistem dapat mencapai suhu maksimal dan stabil pada 80,3 °C, serta dapat mencapai suhu 45 °C dalam waktu 348 detik. Berdasarkan grafik *open loop* tersebut, dapat dilakukan tuning PID dengan menggunakan metode *tuning ziegler-nichols*.



Gambar 10. Grafik open loop suhu dari sistem

2) *Data tuning Ziegler Nichols*: Berdasarkan grafik *open loop* yang telah didapatkan, maka akan dilakukan tuning PID dengan menggunakan metode *tuning ziegler nichols*, dimana kita harus mendapatkan nilai L dan T berdasarkan grafik *open loop* yang telah didapat. Gambar berikut menunjukkan nilai L dan T berdasarkan grafik *open loop* yang telah didapatkan. Berdasarkan grafik *Tuning Ziegler Nichols* diatas, didapatkan nilai T yaitu sebesar 901, dan nilai L sebesar 19. Jika sudah didapatkan nilai T dan L, maka tahapan selanjutnya yaitu dimasukkan kedalam tabel aturan *Tuning Ziegler Nichols* seperti yang telah dicantumkan pada subbab sebelumnya. Sehingga jika dimasukkan kedalam tabel aturan *Tuning Ziegler Nichols*, dengan $L = 19$ dan $T = 901$ didapatkan :

- $K_p = 1,2 (T / L)$
 $= 1,2 (901 / 19)$
 $= 1,2 (47,42)$
 $= 56,90$
- $T_i = 2 (L)$
 $= 2 (19)$

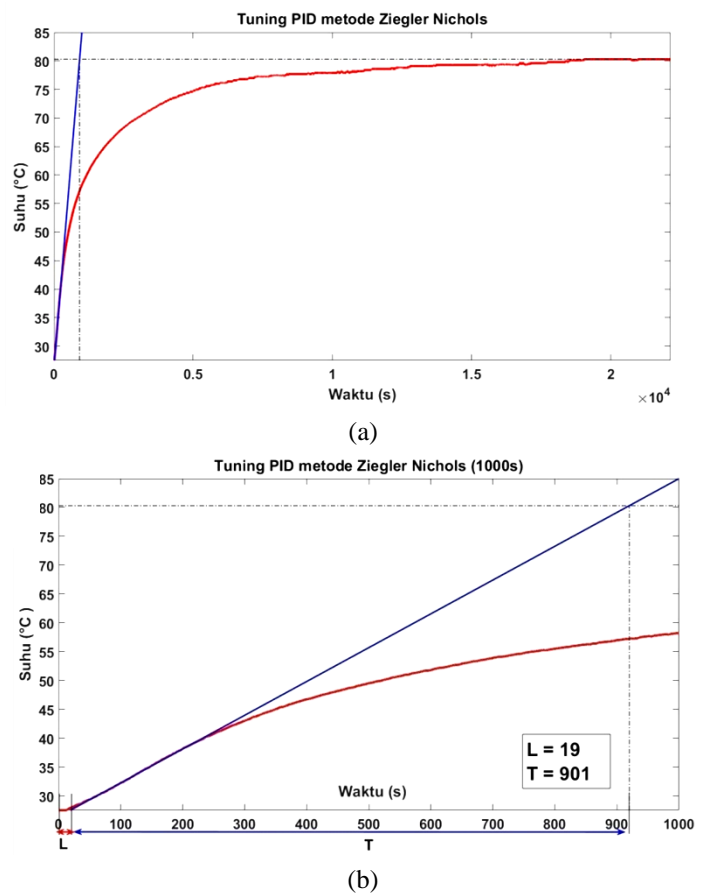
- $= 38$
- $T_d = 0,5 (L)$
 $= 0,5 (19)$
 $= 9,5$

Selanjutnya, nilai $K_p = 56,90$, $T_i = 38$, dan $T_d = 9,5$ disubstitusikan kedalam Persamaan (1) fungsi transfer dari *PID controller* yaitu :

$$G_{cs} = K_p (1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$$

$$G_{cs} = 56,90 (1 + \frac{1}{38s} + 9,5s)$$

$$G_{cs} = 56,90 + \frac{1,4975}{s} + 540,6s$$



Gambar 11. Grafik tuning Ziegler-Nichols (a) skala waktu 22136 s (b) dalam waktu 1000 s

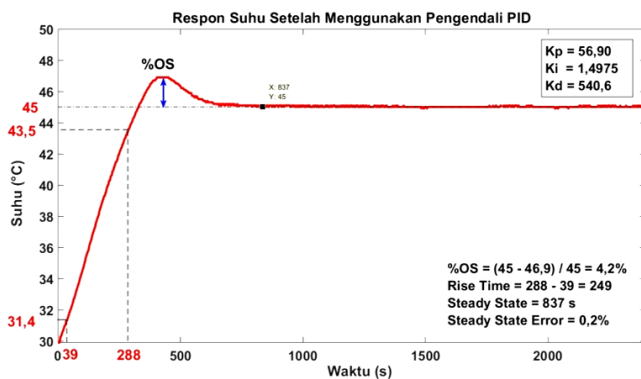
Sehingga, berdasarkan persamaan diatas, didapatkan nilai Konstanta *Proportional* $K_p = 56,90$, konstanta *Integral* $K_i = 1,4975$, dan konstanta *derivative* $K_d = 540,6$ dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) yang selanjutnya akan di masukkan kedalam program pada arduino sebagai parameter pengendali PID yang akan mengendalikan sistem.

C. *Pengujian Sistem dengan Pengendali PID*

Pengujian ini dilakukan dengan melihat respon suhu pada alat pengering setelah menggunakan pengendali PID dengan keadaan alat pengering masih kosong (belum dilakukannya

proses pengeringan). Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah sistem memiliki respon yang baik. Pada pengujian diberikan nilai *setpoint* sebesar 45°C. Berikut merupakan respon setelah diterapkannya pengendali PID.

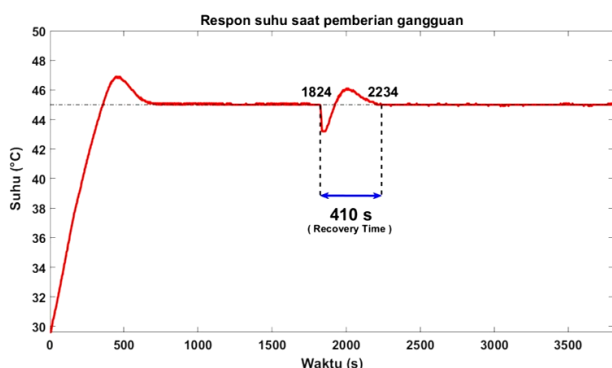
Berdasarkan Gambar 12 grafik respon tersebut, dapat dilihat bahwa sistem menunjukkan suatu grafik yang stabil pada *setpoint* 45 °C walaupun memiliki *overshoot* sebesar 4,2%. Namun *overshoot* tersebut tidak menjadi suatu masalah karena belum melebihi 5%. Sistem juga memiliki kecepatan respon (*rise time*) yang relatif singkat untuk sebuah pemanas lampu pijar yaitu selama 249s (288s – 39s), serta memiliki *steady state error* nya sebesar 0,2%.



Gambar 12. Grafik respon suhu dengan pengendali PID

D. Pengujian Sistem dengan Pemberian Gangguan:

Pengujian ini dilakukan dengan melihat respon suhu pada alat pengering ketika diberi gangguan secara langsung. Gangguan dilakukan dengan cara membuka pintu dari bangun ruang sehingga udara AC akan mempengaruhi suhu didalam bangun ruang yang dapat menyebabkan suhu bangun ruang menurun. Gambar 13 menunjukkan grafik respon dari suhu saat diberikan gangguan. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa saat respon pengendali PID hasil Tuning Ziegler Nichols diberi gangguan, maka memiliki waktu pemulihan (*Recovery Time*) yang sangat singkat, yaitu selama 410s (6,8 menit).

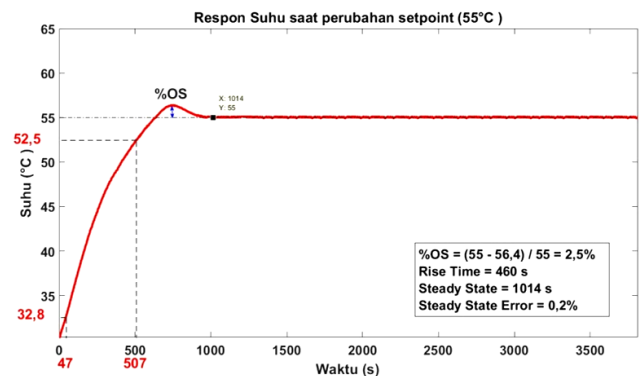


Gambar 13. Grafik respon suhu saat diberi gangguan

E. Pengujian Sistem dengan Perubahan Setpoint

Pengujian ini dilakukan dengan melihat respon suhu pada alat pengering saat diberikan *setpoint* yang berbeda, dari

yang sebelumnya sebesar 45 °C, menjadi 55 °C. Pengujian perubahan *setpoint* ini dilakukan untuk melihat apakah respon dari pengendali PID akan mencapai *setpoint* yang diberikan lebih tinggi dengan baik. Untuk lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 14. Berdasarkan gambar 14, terlihat bahwa sistem memiliki respon yang cukup bagus karena memiliki kecepatan respon (*rise time*) selama 460s (7,6 menit), *steady state* dalam waktu 1014s (17 menit), dan memiliki *steady state error* sebesar 0,2%. Namun memiliki *overshoot* sebesar 2,5%. Nilai *overshoot* tersebut pun bukan menjadi suatu masalah karena masih dibawah 5%. Sehingga berdasarkan perubahan *setpoint* tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengendali PID dapat bekerja dengan baik dalam mencapai *setpoint* yang berbeda.

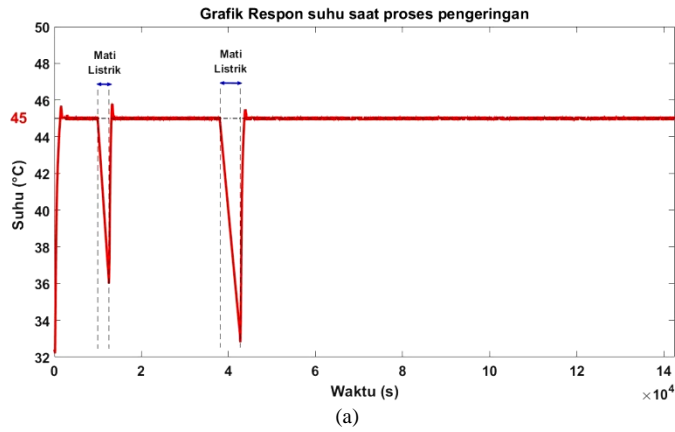


Gambar 14. Grafik respon suhu saat diberi perubahan setpoint

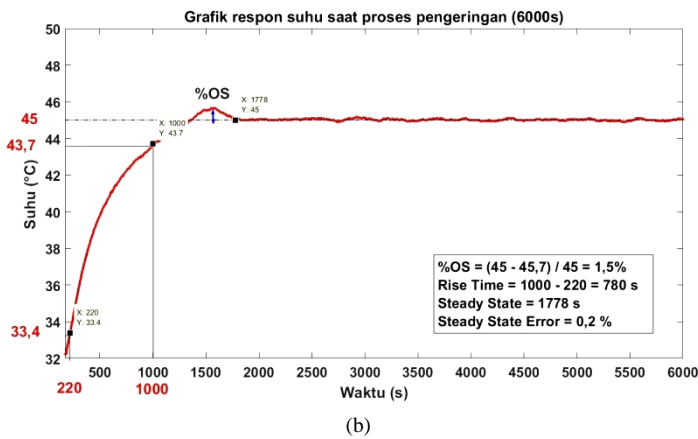
F. Pengujian Pengeringan Belimbing Wuluh

Pada pengujian pengeringan ini, akan dilakukan pengeringan buah belimbing wuluh dengan menggunakan pengendali PID guna mendapatkan hasil berupa *Asam Sunti*. Pada awalnya, belimbing yang digunakan pada percobaan ini yaitu sebanyak 2000gr (2kg) yang mana akan dilakukan pengeringan sampai belimbing wuluh tersebut kehilangan bobot kadar airnya sebanyak 70 % dan hanya menyisakan 30% saja sesuai dengan kriteria dari *Asam Sunti* yaitu memiliki kadar air 30%. Oleh karena itu, pengeringan akan dilakukan sampai berat dari belimbing tersisa 600 gr. Berikut merupakan grafik respon sistem selama pengeringan yang meliputi grafik suhu, kelembaban, masa belimbing, dan grafik PWM sebagai output dari pengendali PID dalam mengendalikan suhu sesuai pada *setpoint* (45°C) yang diberikan.

Berdasarkan gambar 15, dapat dilihat bahwa kecepatan responnya (*Rise Time*) yaitu sebesar 780s (13 menit). *Overshoot* nya sebesar 1,5% , *steady state* nya pada 1778s (29,5 menit), dan *steady state error*nya sebesar 0,2%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki respon pengendalian suhu yang sangat baik, memiliki kecepatan respon yang cepat, dapat stabil pada *setpoint* 45 °C, serta memiliki *steady state error* yang kecil yaitu sebesar 0,2%. Selanjutnya merupakan gambar grafik respon dari kelembaban selama proses pengeringan. Untuk lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 16.

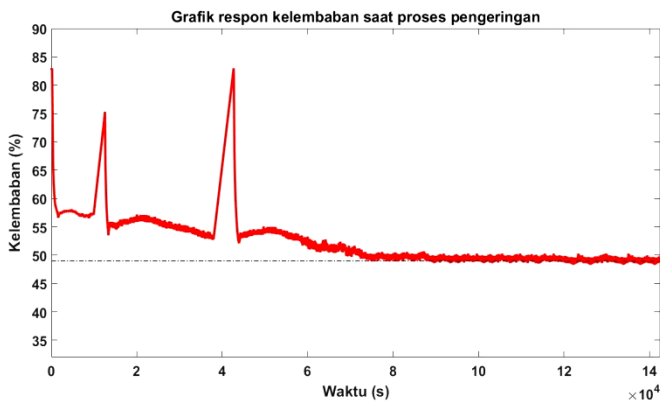


(a)



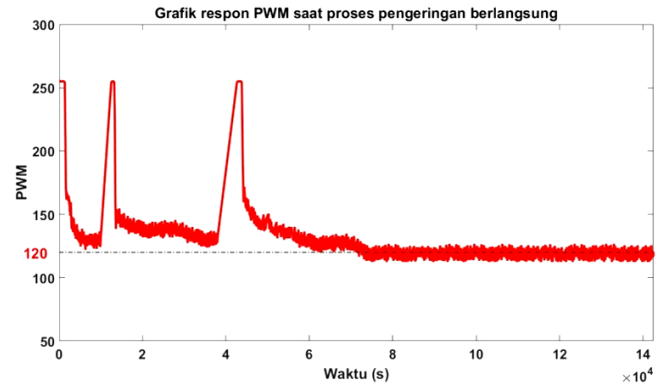
(b)

Gambar 15. Grafik respon suhu saat proses pengeringan (a) Selama 142496s (b) selama 6000s



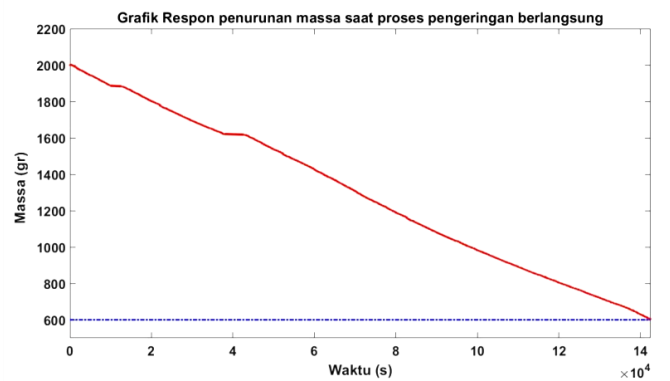
Gambar 16. Grafik respon kelembaban saat proses pengeringan

Berdasarkan Gambar 16, kelembaban pada awalnya berada di kisaran 82%, yang kemudian diturunkan secara perlahan sampai menjadi 50%. Hal tersebut tentunya sudah termasuk kedalam kriteria kelembaban yang diperlukan. Karena kelembaban yang baik pada pengeringan ini yaitu dibawah 60%. Selanjutnya merupakan grafik respon dari PWM yang merupakan *output* dari pengendali PID yang mengendalikan lampu agar stabil pada *setpoint* 45°C.



Gambar 17. Grafik respon PWM saat proses pengeringan

Berdasarkan Gambar 17 diatas, dapat dilihat bahwa pada awal sistem bekerja, pengendali PID akan memberikan *output* PWM maksimal (255). Namun ketika suhu sudah mencapai *setpoint* sebesar 45°C, maka PWM perlahan berkurang secara otomatis dikarenakan pengendali PID, sehingga sampai pada saat suhu stabil seterusnya pada *setpoint* 45°C, PWM juga akan ikut stabil pada *range* 120-128. Hal tersebut dilakukan agar suhu selalu stabil pada *setpoint* 45°C. Dan yang terakhir yaitu grafik penurunan massa dari belimbing wuluh.



Gambar 18. Grafik respon massa belimbing saat proses pengeringan

Berdasarkan Gambar 18 diatas, waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk menurunkan massa belimbing wuluh dari berat 2000gr menjadi 600gr adalah selama 142.496s, yang jika dikonversi kedalam jam, maka dibutuhkan waktu selama 39,58 jam (sehari setengah). Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki respon yang sangat baik dan dapat meminimalkan proses pengeringan *Asam Sunti* dari yang pada penelitian sebelumnya yaitu selama 3 hari 72-79 jam, menjadi sehari setengah saja (39,58 jam). Proses pengeringan yang menjadi lebih cepat tersebut dikarenakan suhu pengeringan yang dipakai pada penelitian ini yaitu lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan dapat memberi respon yang sangat stabil pada *setpoint* suhu yang diberikan, dimana penelitian sebelumnya pada [4] hanya dapat mencapai suhu maksimal yaitu sebesar 40 °C dan juga tidak dapat stabil pada *setpoint* 40°C karena sistem masih menggunakan *control on-off*.

Selain itu, pada penelitian sebelumnya juga masih menggunakan casing alat pengering yang terbuat dari kayu yang tidak dapat menghantarkan panas pada alat pengering, sedangkan pada penelitian ini, telah digunakan lapisan plat alumunium pada seluruh sisi alat pengering yang dapat membangkitkan panas yang lebih pada alat. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan output yang lebih baik dari penelitian-penelitian sebelumnya. Berikut merupakan *Asam Sunti* yang dihasilkan setelah proses pengeringan pada penelitian ini.



Gambar 19. Proses Pengeringan belimbing wuluh yang diambil dalam beberapa waktu sampai menjadi *Asam Sunti*

Berdasarkan Gambar 19, menunjukkan hasil dari *Asam Sunti* selama proses pengeringan yang diambil dalam beberapa waktu dan saat sudah selesai proses pengeringan. Hasil *Asam Sunti* yang didapatkan setelah melalui proses pengeringan sangatlah baik, dan mempunyai hasil yang sama jika dibandingkan dengan *Asam Sunti* hasil dari pengeringan secara manual. Sehingga dapat disimpulkan bahwa alat pengering belimbing wuluh dapat bekerja dengan sangat baik dimana memiliki waktu produksi *Asam Sunti* yang lebih

singkat jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukannya penelitian dan beberapa pengujian maka diperoleh kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan pengendali PID, respon sistem pada bangun ruang pengering belimbing wuluh memiliki respon suhu yang sangat stabil pada *setpoint* 45 °C jika dibandingkan dengan kendali *control on-off*.
2. Berdasarkan hasil respon sistem pada alat pengering, didapatkan kecepatan respon (*Rise Time*) sebesar 780s (13 menit) yang menunjukkan bahwa sistem menunjukkan kecepatan respon yang lebih cepat jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, memiliki *overshoot* sebesar 1,5%, *steady state error* sebesar 0,2%, dan mencapai *steady state* pada saat 1763s (29,3 menit).
3. Berdasarkan pencarian parameter pengendali PID dengan menggunakan metode *Tuning Ziegler Nichols*, maka diperoleh parameter pengendali PID yang sesuai pada alat pengering belimbing wuluh yaitu dengan nilai $K_p = 56,90$, $K_i = 1,4975$, dan $K_d = 540,6$.
4. Penggunaan metode *Tuning Ziegler Nichols* pada penelitian sangatlah efektif, karena menghasilkan parameter pengendali PID yang sangat baik dan cocok untuk alat pengering karena dapat menjaga kestabilan dengan baik dan tahan terhadap gangguan.
5. Berdasarkan hasil pengeringan belimbing wuluh yang telah dilakukan, massa dari belimbing wuluh dapat berkurang dengan sangat baik, sehingga pengeringan untuk mendapatkan massa dari 2000gr menjadi 600gr, hanya memerlukan waktu selama 39,58 jam saja dari yang pada penelitian sebelumnya memerlukan waktu selama 79 jam.

REFERENSI

- [1] Lingga, P, "*Pertanian Belimbing*". Bogor : Penebar Swadaya, 1997.
- [2] Baihaqi, "Kajian Konsentrasi Dan Waktu Pengaraman Belimbing Wuluh (*Avverhoa Bilimbi L*) Dalam Pembuatan *Asam Sunti* Dari Aceh." Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2014.
- [3] H. Rita, T.S. Soewarno, dan N. Lilis, "Kajian Pengaraman Dan Pengeringan Belimbing Wuluh (*Avverhoa Bilimbi L*) Dalam Pembuatan *Asam Sunti* Dari Aceh.", *Agripet* Vol 3. No. 1, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2002.
- [4] R. Armiga, "Rancang Bangun *Asam Sunti* Auto Production (ASAP) Berbasis ATMEGA328 Untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu Produksi." Skripsi, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2020.
- [5] K. Ogata, "*Modern Control Engineering*," 5th edition. Prentice-Hall, 1971.
- [6] Wolfgang, "Practical Process Control For Engineers And Technicians". Elsevier, 2005.