

ANALISIS KESTABILAN SISTEM KONTROL TEKANAN ALAT UJI KEBOCORAN MENGGUNAKAN ARDUINO UNO R3 ATMEGA 328

Gede Yudharma

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa
Kalibaru Timur Kel. Kalibaru Medan Satria Kota Bekasi
Email: gyudharma123@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem alat uji kebocoran untuk tube *Plastic Barrier Laminate* (PBL). Pengembangan sistem ini menggunakan beberapa komponen utama seperti Mikrokontroler yang dipasang di papan arduino uno menggunakan keluarga Atmega328p. Sistem kontrol meliputi berbagai komponen diantaranya komponen sensor, sistem kontrol, serta komponen buzzer dan LCD Arduino Uno ATmega328, sensor pressure, serta valve solenoid yang dapat mendukung optimalisasi dari fungsi alat. Rangkaian *sensor* digunakan untuk membaca tekanan (*pressure*). Sensor yang digunakan adalah sensor Wisner WPT-83G-E4G4 (*Pressure Transmitter*). Dalam melakukan pengontrolan tekanan untuk memseteksi kebocoran tube skin, dibuat dengan membuat lagoritma dengan PID controller. Input dan output controller dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino. Analisis kestabilan sistem kontrol tekanan ini dilakukan dengan memakai software open modelica. Hasil pengujian dan simulasi memperlihatkan bahwa kendali PID pada pengontrolan tekanan mampu menghasilkan keluaran yang stabil sesuai dengan set point, serta memiliki nilai *settling time* yakni 435 s waktu sampling. Terdapat *overshoot* sebesar 20,13%, di mana keluarannya stabil setelah waktu *settling time*. Hasil pengujian untuk menentukan tekanan tube skin secara riil menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan PID controller, kestabilan sistem tersebut juga menunjukkan bahwa tube skin tidak bocor. Kalau tube skin terjadi kebocoran, maka sistem kontrol ini akan tidak stabil atau berosilasi terus. Hasil perancangan menunjukkan bahwa alat uji kebocoran ini dapat mendeteksi kebocoran dengan akurat, baik pada produk yang lolos uji maupun yang bocor.

Keywords— PID controller, sensor tekanan, Alat Uji Kebocoran Tekanan, Arduino UNO R3

I. PENDAHULUAN

Tube skin care merupakan kemasan yang biasa dipakai untuk kebutuhan produk perawatan tubuh atau perawatan kulit. Kemasan ini biasanya digunakan untuk produk yang setengah cair seperti pasta gigi, lotion, hand cream, body butter atau cream gel. Kemasan bisa terbuat dari aluminium atau plastik (*Plastic barrier laminate*). Keunggulannya adalah isinya tidak mudah keluar kecuali kita menekan atau memencetnya. Produk industri yang digunakan saat ini sudah melalui proses *quality control* agar memenuhi syarat hygiene[1].

Dalam proses produksi *Tube skin care*, banyak terdapat produk *reject* bocor pada saat proses *filling bulk* maupun pada saat pembuatan tube. Saat ini metode pengontrolan kualitas yang banyak dipakai adalah sampling kebocoran dengan *bubble test* [2,3]. Test ini hanya bisa digunakan untuk test sampling saja, dan tidak bisa untuk melakukan cek kebocoran di proses produksi semuanya. Tube akan terkontaminasi air dan harus di buang karena produk tidak memenuhi syarat hygiene.

Perkembangan teknologi kontrol proses saat ini, juga sangat membantu dalam meningkatkan efisiensi proses produksi dengan memakai mikrokontroler Arduino UNO[4]. Arduino UNO merupakan sebuah board yang berbasis mikrokontroler pada ATmega328, dapat digunakan untuk mengembangkan obyek interaktif dengan cara mengambil masukan dari berbagai switch atau sensor. Mikrokontroler Arduino sudah banyak diaplikasikan seperti dalam *design and development of a PV-T test bench based on Arduino* [5], *A low cost controller of PV system based on Arduino board and INC algorithm* [6] dan *Development of a Prototype Test Rig for Leak Detection in Pipelines* [7].

Discrete PID Controller

Kontrol PID merupakan kontrol dengan mekanisme umpan balik yang sering digunakan di dunia industri. PID berfungsi untuk mengatur putaran motor yaitu kontrol proporsional yang memiliki kelebihan *rise time* yang cepat, kontrol integral untuk memperkecil nilai *error* dan kontrol derivatif untuk meredam *overshoot* [8].

Kendali PID digunakan dalam sistem *loop* tertutup yang memiliki umpan balik dari *output* sistem untuk mencapai respon yang diinginkan. Kontrol PID terdiri dari proporsional, integral dan derivatif dan saling memiliki pengaruh terhadap yang lain [8].

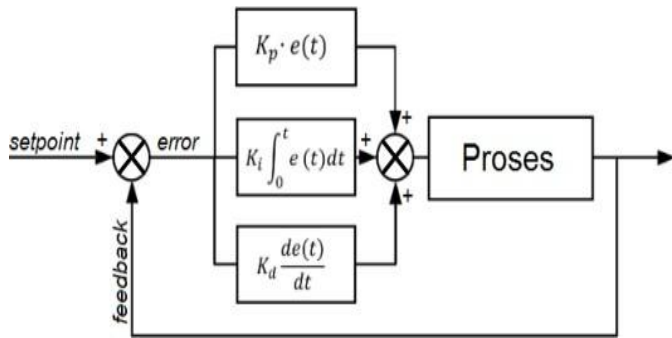
Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa jika ketiga parameter tersebut dikombinasikan secara optimal akan menghasilkan respons keluaran yang baik. PID memiliki masukan berupa sinyal kesalahan $e(t)$ dan keluaran pengendali merupakan sinyal kontrol $u(t)$. Hubungan antara masukan dan keluaran pengendali PID pada (1)

$$U(t) = (K_p(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_u^t e(t)dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (1)$$

Hasil Laplace pada (1) menjadi (2).

$$U(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i S} + \tau_d S \right) E(s) \tag{2}$$

Pada (2), K_p merupakan penguatan proporsional dan τ_i merupakan waktu integral dan τ_d adalah waktu diferensial. Ketiga parameter tersebut dapat ditentukan nilainya. Sehingga fungsi alih pengendali PID ditunjukkan oleh (3).



Gambar 1. Blok diagram pengendali PID

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i S} + \tau_d S \right) \tag{3}$$

Tipe pengendali proporsional K_p akan memberikan pengaruh pengurangan nilai *rise time* akan tetapi tidak menghapus nilai *error steady state* [9]. Kontrol integral akan memberikan pengaruh menghilangkan *error steady state* akan tetapi berakibat menurunkan respons *transient*. Sedangkan pengendali derivatif K_d akan memberikan pengaruh meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi nilai *overshoot*. Efek dari setiap pengendali dalam sistem *closed loop* hal ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta PID controller

| Respons | Rise Time | Ovetshoot | Settling Time | Error Steady State |
|---------|-----------------|-----------|-----------------|--------------------|
| K_p | Naik | Meningkat | Perubahan Kecil | Menurun |
| K_i | Menurun | Meningkat | Meningkat | Hilang |
| K_d | Perubahan Kecil | Menurun | Menurun | Perubahan Kecil |

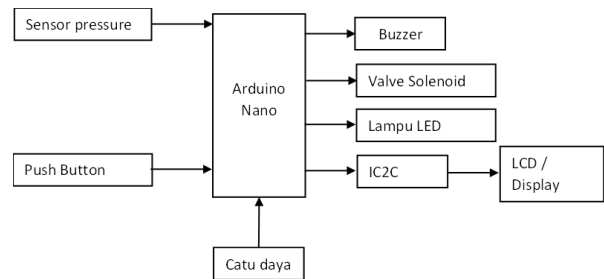
Pada pengendali PID memiliki tiga parameter yang mempengaruhi hasil dari kontrol yang dirancang. Berdasarkan Tabel 1 didapatkan hasil pengaruh beberapa parameter seperti parameter K_p ditambahkan nilainya atau diperbesar maka akan berpengaruh meningkatkan nilai *rise time* dan *overshoot* pada hasil kontrol. Sebaliknya pada nilai *settling time* dan nilai *error steady state* akan menurun. Jika menambahkan nilai parameter K_i maka nilai *overshoot* dan *settling time* akan meningkat, sedangkan nilai *rise time* akan menurun dan nilai *error steady state* akan hilang. Terakhir jika menambahkan nilai K_d jika ditambahkan akan memberikan pengaruh pada nilai *overshoot* dan *settling time* akan menurun, sedangkan nilai *rise time* dan *error steady state* akan berubah sedikit.

Sehubungan dengan permasalahan ini, dilakukan perancangan peralatan test kebocoran produk *Tube skin care* dengan merancang sistem pengontrolan tekanan dengan PID controller. Simulasi pengetesan kestabilan controller dilakukan dengan memakai software open modelica. Pengembangan sistem ini menggunakan beberapa komponen utama seperti Arduino Uno ATmega328, sensor pressure, valve solenoid dan beberapa komponen lainnya yang dapat mendukung optimalisasi dari fungsi alat.

II. METODOLOGI

Diagram blok sistem perancangan alat

Gambar 2 merupakan diagram blok desain alat uji kebocoran tube skin care dengan sistem perbandingan presure udara (dry leak test) menggunakan Arduino uno R3 Atmega 328, tanpa melibatkan algoritman pengontrol tekanan dengan PID controller [1].



Gambar 2. Diagram blok perancangan alat

a. Sensor pressure

Sensor adalah alat yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisis menjadi besaran Listrik sehingga dapat dianalisis dengan rangkaian listrik tertentu [10]. Sensor yang digunakan pada sistem uji kebocoran ini adalah *pressure transmitter*. Pemancar tekanan (*Pressure transmitter*) adalah jenis sensor atau perangkat yang sangat cocok untuk mengukur Tingkat tekanan dalam system proses, Dimana rentang pengukuran tekanan antara 0 bar dan 12 bar [11].

Transduser tekanan berfungsi untuk menghubungkan sistem kontrol dengan faktor fisik yang mengatur sistem. Ini mengubah tekanan yang dibangun dalam sistem menjadi sinyal listrik melalui deformasi fisik strain gages, yang diikat ke dalam diafragma dan dihubungkan ke konfigurasi kontrol elektronik. Transduser tekanan 5 V DC yang rentang tekanan kerja dan arusnya masing-masing antara 0-1,2 MPa dan ≤ 10 mA.

b. Methode pengujian kebocoran

Ada dua jenis metode umum yang digunakan untuk pengujian kebocoran [2].

- Pengujian kering
- Pengujian basah

Pengujian Kering- metode ini paling banyak digunakan dan merupakan metode awal pengujian komponen tertutup. Dalam metode ini, komponen yang akan diuji terlebih dahulu ditutup seluruhnya dan udara bertekanan dilewatkan melaluinya, udara

bertekanan di dalam komponen dipantau. Perlu diperhatikan bahwa jika tekanan meningkat secara merata pada komponen tertutup, berarti komponen tersebut baik-baik saja. Namun jika tekanan tiba-tiba turun berarti komponen tersebut retak, maka komponen tersebut ditolak.

Pengujian Basah- metode ini paling banyak digunakan dan merupakan metode sekunder untuk menguji komponen tertutup apa pun. Pada metode ini, komponen yang akan diuji terlebih dahulu ditutup seluruhnya dan udara bertekanan dilewatkan melaluinya, udara bertekanan pada komponen dipantau setelah dimasukkan ke dalam bak air atau bejana yang berisi air. Perlu diperhatikan bahwa jika tekanan meningkat secara merata pada komponen tertutup, berarti komponen tersebut baik-baik saja. Namun jika tekanan tiba-tiba turun dan terjadi gelembung-gelembung berarti komponen tersebut retak, maka komponen tersebut ditolak. Metode uji kebocoran yang paling umum digunakan adalah *under water bubble test, bubble soap paint, pressure and vacuum decay, and tracer gas detectors (halogen, helium and hydrogen)*.

c. Arduino uno R3

Arduino Uno merupakan salah satu Arduino yang murah, mudah didapat, dan sering digunakan. Arduino Uno versi R3 merupakan tipe terbaru yang dilengkapi mikrokontroler ATMEGA328P agar dapat bekerja secara maksimal. Arduino Uno memiliki kelebihan terutama menjadi lebih mudah dan menyenangkan. Pendekatan kontrol kecepatan motor dc dengan menggunakan arduino menjadi sangat mudah. Gambar 3, menunjukkan modul board arduino yang dapat digunakan untuk melakukan kontrol pompa air sehingga debit pompa dapat diatur sesuai dengan keinginan [12].

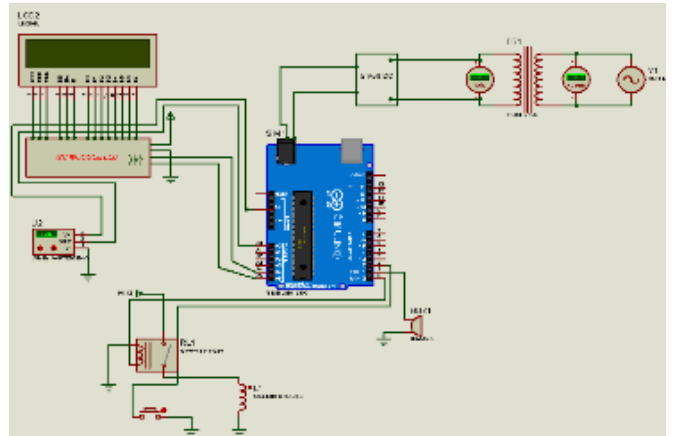


Gambar 3. Modul Board Arduino

Gambar 4 merupakan desain wiring alat uji kebocoran tube skin care dengan system perbandingan presure udara (*dry leak test*) menggunakan Arduino uno R3 Atmega 328. Rangkaian *sensor* digunakan untuk membaca tekanan (*pressure*). Sensor yang digunakan adalah sensor Wisner WPT-83G-E4G4 (*Pressure Transmitter*). Sensor ini akan merubah dari besaran tekanan menjadi tegangan output yang akan dibaca ke dalam Arduino. Besar kecilnya tekanan yang dibaca akan dibandingkan dengan data tekanan yang diset sebagai parameter pembanding (*standard minimum tekanan*) [13].

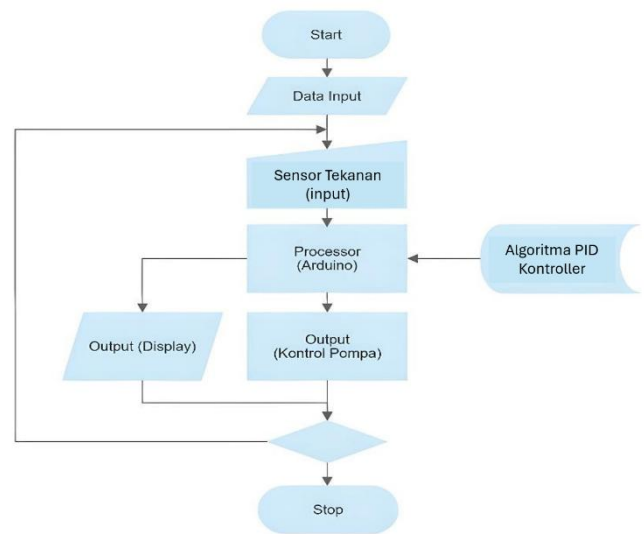
Desain keseluruhan alat merupakan gabungan dari rangkaian tiap komponen sehingga tercipta suatu sistem kontrol. Udara yang masuk kedalam tube selama beberapa waktu akan terbaca oleh sensor akan ditampilkan pada LCD I2C. Setelah Valve tertutup sensor akan membaca kembali besarnya tekanan

yang terjebak dalam tube.

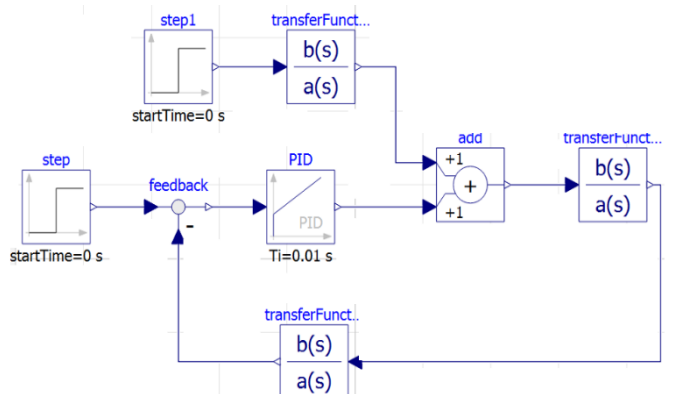


Gambar 4. Rangkaian wiring system perancangan alat

Apabila tekanan dibawah nilai yang sudah ditentukan maka buzzer berbunyi dan secara bersamaan pada display akan tertera judgement *OK* atau *Reject* dari produk tersebut. Flow diagram perancangan pressure controller dapat dilihat pada gambar 5. Input controller didapat dari prosesor Arduino, sedangkan output juga masuk ke prosesor Arduino.



Gambar 5. Flow diagram perancangan algoritma controller



Gambar 6. Desain Blok Diagram *Closed Loop Control System*

Desain elektrikal pada sistem kontrol ini adalah sistem *closed loop* dimana terdapat empat blok utama yaitu input, controller, processing dan feedback yang menggunakan sensor pressure sebagaimana Gambar 6, yang didisain dengan software open modelica. Input yang masuk ke sistem kontrol in terdiri dari input pressure dan *disturbance* (gangguan). Error yang keluar dari feedback dikontrol dengan PID controller.

III. HASIL DAN PEMBAHASA

Uji fungsi rangkaian catu daya

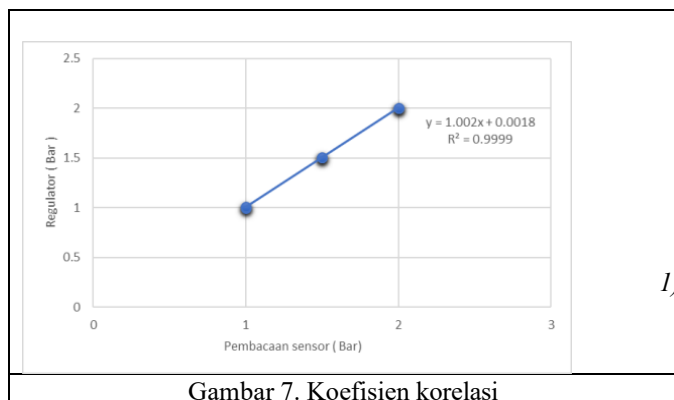
Untuk memastikan tegangan dari catu daya ini stabil maka akan dilakukan uji tegangan output catu daya baik dalam keadaan tanpa beban maupun dengan keadaan ada beban. Dari hasil percobaan, selisih yang pembacaan yang besar (diatas 0.5 volt) akan berpengaruh terhadap kestabilan pembacaan pada sistem. Hasil pengujian catu daya dengan adalah seperti table 2 berikut:

Tabel 2. Pengujian output rangkaian catu daya

| Test | Tanpa Beban (Volt) | Dengan beban / system dijalankan (Volt) | Selisih |
|------|----------------------|---|---------|
| 1 | 5.23 | 5.07 | 0.16 |
| 2 | 5.23 | 5.07 | 0.16 |
| 3 | 5.25 | 5.10 | 0.15 |
| 4 | 5.23 | 5.07 | 0.16 |
| 5 | 5.25 | 5.07 | 0.18 |

Uji fungsi program pembacaan tekanan

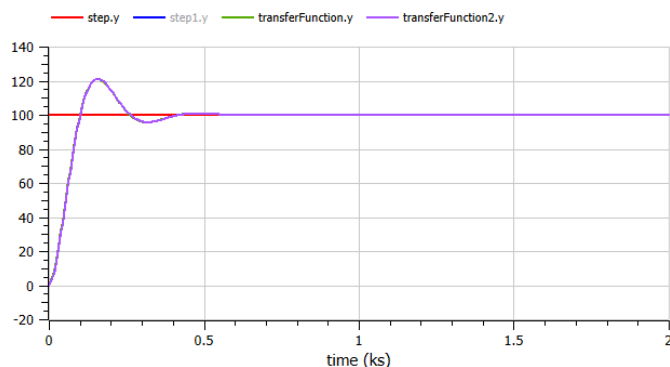
Uji fungsi program pembacaan sensor tekanan dilakukan dengan membandingkan pembacaan alat ukur yang sudah terkalibrasi dengan hasil baca dari sensor tekanan. Tujuan uji ini untuk memastikan kestabilan pembacaan dari sensor yang sebelumnya sudah dilakukan kalibrasi. Dari data yang didapat tercatat antara sensor dengan pembanding (regulator) memiliki selisih rata-rata -0,005 bar. Pada regulator udara jika tercatat tekanan 1 bar maka pembacaan tekanan disensor yaitu 1,008 bar . Sehingga diasumsikan data yang terbaca sudah sesuai. Pada Gambar 7 dapat dilihat hasil kalibrasi sensor dan regulator tekanan dengan nilai $y=1.002x + 0.0018$ dan $R^2 = 0.9999$.



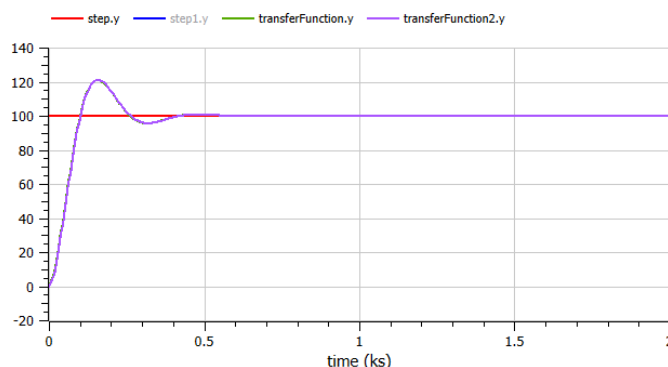
Gambar 7. Koefisien korelasi

Untuk mengendalikan tekanan, dibutuhkan suatu sistem kendali. Kendali yang diimplementasikan pada sistem ini adalah kendali *proportional-integral* (PI) dan *proportional-integral-derivative* (PID), dimana hasilnya merupakan hasil simulasi dengan software open modelica.

Kendali PI: Kendali PI ini menggunakan nilai konstanta proporsional (K_p) sebesar 1000 dan konstanta integral (K_i) sebesar 0,01. Kendali PI pada pengontrolan tekanan mampu menghasilkan keluaran yang stabil sesuai dengan set point namun memiliki nilai *settling time* yang cepat yakni 450 s waktu sampling. Terdapat *overshoot* sebesar 20,13%, di mana keluarannya stabil setelah waktu *settling time*, seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Respon waktu PI controller



Gambar 9. Respon waktu PID controller

Tabel 3. Perbandingan nilai konstanta kendali PI, dan PID

| Kendali | k | τ_i | τ_d |
|---------|------|----------|----------|
| PI | 1000 | 0,01 | - |
| PID | 1000 | 0,01 | 10 |

Data hasil pengukuran riil terhadap kebocoran tube dengan mengatur tekanan dengan PI controller, didapat data seperti tabel 4 berikut. Dengan PI controller terlihat stabil artinya tidak terdapat kebocoran tube skin, dimana fungsi kontrol masih berfungsi dengan baik.

Tabel 4. Pembacaan Tegangan input dan output

| No | Tekanan input (Bar) | Pembacaan dari sensor (Output) (Bar) |
|----|---------------------|--------------------------------------|
| 1 | 1 | 0,992 |
| 2 | 1 | 1,008 |

| | | |
|---|-----|-------|
| 3 | 1 | 1,008 |
| 4 | 1,5 | 1,507 |
| 5 | 2 | 2,006 |
| 6 | 2 | 2,004 |
| 7 | 2 | 2,004 |

2)

Kendali PID: Nilai konstanta proporsional (K_p), integral (K_i), dan derivatif (K_d) yang digunakan berturut-turut adalah 1000, 0,01, dan 10. Kendali PID pada pengontrolan tekanan mampu menghasilkan keluaran yang stabil sesuai dengan set point dengan nilai *settling time* yang mencapai 425 s waktu sampling. Terdapat *overshoot* sebesar 20,03%, di mana keluarannya stabil setelah waktu *settling time*. Hasil pengujian riil dari pembacaan tekanan memperlihatkan bahwa ketika tidak ada kebocoran tube skin, maka PID controller berfungsi dengan baik, seperti terlihat pada data table 5.

Tabel 5. Pembacaan Tegangan input dan output

| No | Tekanan input (Bar) | Pembacaan dari sensor (Output) (Bar) |
|----|---------------------|--------------------------------------|
| 1 | 1 | 0,992 |
| 2 | 1 | 1,008 |
| 3 | 1 | 1,008 |
| 4 | 1,5 | 1,507 |
| 5 | 2 | 2,006 |
| 6 | 2 | 2,004 |
| 7 | 2 | 2,004 |

Gambar 7 dan 8 menunjukkan grafik tekanan keluaran dari pengontrolan kebocoran, dimana dengan melihat grafik dapat dipastikan tube yang dikontrol tidak bocor. Apabila terjadi kebocoran tentu akan terjadi osilasi terus menerus untuk mempertahankan tekanan. Tekanan keluaran dengan kendali PI, dan PID terlihat memiliki respons yang sedikit berbeda. *overshoot* PID controller lebih terkendali dari pada PI controller, sudah sesuai dengan karakteristiknya. Sedangkan *settling time* PID controller lebih cepat daripada PI controller. PID controller dengan menambahkan komponen derivatif yang berfungsi sebagai prediktor terhadap perubahan error, sehingga sistem bisa lebih cepat dan stabil. Ini sangat berguna untuk sistem dengan dinamika cepat atau yang rentan terhadap osilasi seperti pengetesan kebocoran tube skin. Tabel 3 menunjukkan perbandingan konstanta dari PI dan PID controller. Dengan penambahan algoritma controller, sistem ini juga berfungsi untuk mendeteksi kebocoran tube skin lebih akurat. Apabila terjadi kebocoran, maka sistem tentu akan beresilasi menjadi tidak stabil.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perancangan pendeteksi kebocoran kering (*dry leaktester*) pada tube skin care berbasis Arduino dan sensor tekanan dengan memakai algoritma PID controller dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perancangan menunjukkan bahwa alat uji kebocoran ini dapat mendeteksi kebocoran dengan akurat, baik pada produk yang lolos uji maupun yang bocor.
2. Hasil pengukuran tekanan input dan output, dengan

memanfaatkan PID controller, memperlihatkan bahwa controller ini berfungsi dengan baik.

3. Dengan memakai system PID controller dengan input dan output menuju Arduino, memperlihatkan bahwa alat ini dapat menentukan bahwa tube skin tidak bocor. Kalau terjadi kebocoran akan terjadi osilasi yang menyebabkan kondisi tidak stabil.
4. Kendali PID pada pengontrolan tekanan mampu menghasilkan keluaran yang stabil sesuai dengan set point, serta memiliki nilai *settling time* yakni 425 s waktu sampling. Terdapat *overshoot* sebesar 20,03%, di mana keluarannya stabil setelah waktu *settling time*.

Referensi

1. Ariwibowo, B A., Yudharma, G., (2024). Rancang Bangun Alat Uji Kebocoran Tube Skin Care dengan Sistem Perbandingan Pressure Udara (Dry Leak test) Menggunakan Arduino Uno R3 Atmega 328. *Justekno* Vol 8 No.2 Bekasi
2. Katarkar, A., Bhosale, R. S., Kumbhar, P. P., Mahajan, K. S., Yachkal, A. K., & Anil Katarkar, P. (2017). Study on Leak Testing Methods. In *IJSRD- International Journal for Scientific Research & Development* (Vol. 5). www.ijrsrd.com
3. Ardi, S., Program Studi Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, S., & Manufaktur Astra, P. (2016). DESAIN SISTEM KENDALI MESIN PENGUJI KEBOCORAN UDARA MENGGUNAKAN SISTEM KENDALI PLC OMRON CJ2M DI HVAC (HEATING, VENTILATING, AND AIR CONDITIONING). In *Jurnal Teknik Mesin (JTM)* (Vol. 05).
4. Ilham, M., Assidiq, M., & Zedly, I. (2021). PENDETEKSI GAS BOCOR DI RUANGAN TERTUTUP MENGGUNAKAN ARDUINO. *Journal Peaguruang: Conference Series*, 3(1), 239. <https://doi.org/10.35329/jp.v3i1.1642>
5. Ulloa, C., Maria Nuñez, J., Suárez, A., & Lin, C. (2017). Design and development of a PV-T test bench based on Arduino. *Energy Procedia*, 141, 71–75. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.014>
6. Oussalem, O., Kourchi, M., Rachdy, A., Ajaamoum, M., Idadoub, H., & Jenkal, S. (2020). A low cost controller of PV system based on Arduino board and INC algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 24, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.689>
7. Daniyan, I. A., Dahunsi, O. A., Oguntuase, O. B., Daniyan, O. L., & Mpofu, K. (2019). Development of a prototype test rig for leak detection in pipelines. *Procedia CIRP*, 80, 524–529. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.016>
8. A. Ma'Arif, Iswanto, N. M. Raharja, P. A. Rosyady, A. R. C. Baswara, and A. A. Nuryono, "Control of DC Motor Using Proportional Integral Derivative (PID): Arduino Hardware Implementation," *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, pp. 10.1109/ICIEE49813.2020.9277258.
9. Nurrahma, S., Berbudi, T A., Firdaus, M R., Izzaulhaq, G., Hudati, I., Implementasi Kontrol PID

JUS TEKNO (JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI)

<https://journal.sttdb.ac.id/>

- pada Kopel Motor DC dengan Menggunakan Filter Kalman” Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan., Vol. 4 no.1, 2023
10. Budiarmo, Z. (2011). Sistem Monitoring Tingkat Ketinggian Air Bendungan Bebas Mikrokontroler. *Jurnal Dinamika Informatika*, 3(1).
 11. Ardy Vista Yudha. (2016). Rancang Bangun Pressure monitoring system pada mini plant air conditioner berbasis arduino Atmega 328. https://repository.its.ac.id/76414/1/2413031023-Non_Degree.pdf
 12. Dr. Muhammad Yusro, . MT. (2016). Modul Teori dan Praktikum Mikrokontroler Platform Arduino. *Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta* .
 13. Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina,S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. In *Computer Science Review* (Vol. 40). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.10036>