

Pemodelan Kotak Hitam Motor DC pada Mesin Otomatis Pencampur Sabun Cair

Hasvienda M.Ridlwan^{1*}

1. Teknik Mesin, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, 16425, Indonesia

*E-mail: hasvienda.ridlwan@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Fokus Penelitian untuk mengembangkan pemodelan kotak hitam yang efektif untuk mesin pencampur sabun cair. Mesin pencampur sabun cair digunakan dalam industri pembuatan sabun cair untuk mencampur bahan-bahan utama dengan proporsi yang tepat, guna menghasilkan produk yang konsisten. Metode pengumpulan data eksperimental skala laboratorium yang mencakup parameter penting seperti laju aliran bahan, suhu, tekanan, dan waktu pencampuran. Teknik pemodelan kotak hitam, dikembangkan model matematika dapat meramalkan hasil pencampuran berdasarkan masukan yang diberikan, dengan analisis fungsi alih yang diperoleh dari pemodelan kotak hitam, karakteristik dinamis sistem seperti waktu tunda, kecepatan respon, dan kestabilan dapat dianalisis. Fungsi alih ini membuka peluang untuk merancang sistem kendali yang optimal, seperti kontrol proporsional integral (PI) atau kontrol model prediktif (MPC), untuk meningkatkan kinerja mesin pencampur. Implementasi sistem kendali dalam industri sabun cair dapat meningkatkan konsistensi produk, mengoptimalkan penggunaan bahan, mengurangi waktu pencampuran, dan meminimalkan kesalahan operasional serta membantu produsen sabun cair dapat mengoptimalkan proses pencampuran. Penelitian berkontribusi dalam pengembangan metode analisis dan perancangan sistem kendali pada mesin pencampur sabun cair dengan parameter viskositas yang telah ditetapkan yaitu 500 cSt. Hasil penelitian pemodelan kotak hitam yang efektif untuk mesin pencampur sabun cair dan menganalisis fungsi alih untuk merancang sistem kendali yang optimal. Hasil penelitian ini dapat membantu produsen sabun cair dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi.

Kata Kunci: pemodelan kotak-hitam, kendali, motor DC, pencampur sabun, mesin otomatis

Abstract

This paper presents an effective black box modeling approach for liquid soap mixers, aiming to ensure consistent product quality in the manufacturing industry. Experimental data from laboratory-scale mixers, encompassing flow rate, temperature, pressure, and mixing time, is collected and utilized. Through the application of black box modeling techniques, a mathematical model is developed to predict mixing outcomes based on the given input parameters. The derived transfer function allows for the analysis of dynamic characteristics such as time delay, response speed, and stability of the liquid soap mixing system. This analysis facilitates the design of optimal control systems, including proportional integral (PI) control or model predictive control (MPC), to enhance the performance of the mixers. The implementation of effective control systems in the liquid soap production process, including improved product consistency, enhanced resource utilization, reduced mixing time, and minimized operational errors. By comprehending and analyzing the obtained transfer function, soap manufacturers with 500 cSt viscosity parameter can optimize their mixing processes by appropriately adjusting the input parameters. This paper contributes to the advancement of analytical methods and control system design, thereby improving the overall quality and efficiency of soap production. The findings provide practical implications for soap manufacturers operating within the liquid soap industry.

Keywords: black-box modelling, control, DC motor, liquid soap mixers, automatic machine

1. Pendahuluan

Mesin pencampur sabun cair memiliki peran penting dalam industri pembuatan sabun cair untuk mencampur bahan-bahan utama dengan proporsi yang tepat guna menghasilkan produk yang konsisten. Pengembangan pemodelan kotak hitam yang efektif untuk mesin pencampur ini sangatlah penting untuk memahami perilaku dinamisnya dan merancang sistem kendali yang optimal. Pendekatan pemodelan kotak hitam melibatkan pengumpulan data eksperimental mengenai parameter-parameter penting seperti laju aliran bahan, suhu, tekanan, dan waktu pencampuran. Dengan menerapkan teknik pemodelan kotak hitam, sebuah model matematika dapat dikembangkan untuk meramalkan hasil pencampuran berdasarkan variabel masukan. Dengan menganalisis fungsi alih yang diperoleh dari pemodelan kotak hitam, karakteristik dinamis sistem pencampur sabun cair seperti waktu tunda, kecepatan respon, dan kestabilan dapat dianalisis. Fungsi alih ini membuka peluang untuk merancang sistem kendali yang optimal, seperti kontrol proporsional integral (PI) atau kontrol model prediktif (MPC), guna meningkatkan kinerja mesin pencampur. Implementasi sistem kendali yang efektif dalam industri sabun cair dapat meningkatkan kekonsistenan produk, mengoptimalkan penggunaan bahan, mengurangi waktu pencampuran, meminimalkan kesalahan operasional, dan meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan metode analisis dan perancangan sistem kendali pada mesin pencampur sabun cair. Dengan menggunakan pemodelan kotak hitam dan menganalisis fungsi alih yang diperoleh, produsen sabun cair dapat mengoptimalkan proses pencampuran melalui penyesuaian parameter masukan yang sesuai. Hasil dari penelitian ini meliputi pengembangan pemodelan kotak hitam yang efektif untuk mesin pencampur sabun cair, analisis fungsi alih yang diperoleh, dan perancangan sistem kendali yang optimal. Temuan-temuan ini dapat membantu produsen sabun cair dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi.

Proses pencampuran untuk membuat sabun cuci tangan cair diawali dengan reaksi kimia KOH dengan minyak dicampurkan komposisi yang sesuai, ditambahkan dengan beberapa zat adiktif seperti essensial, gliserin dan pewarna (Keswara dkk, 2017; Widyasanti dkk, 2017). Proses pencampuran membutuhkan pengadukan dan pemanasan dalam tabung pencampur supaya semua bahan pembuat sabun dapat tercampur dengan sempurna. Terdapat kendala dalam proses pembuatan atau pencampuran sabun cair memerlukan sebuah pencampur khusus untuk membuat sabun sehingga masyarakat dapat membuat sabun lebih mudah dan efektif secara otomatis. Mesin pencampur otomatis memiliki tujuan untuk mempercepat proses kegiatan karena mesin yang bersifat manual diubah menjadi otomatis (Firmawati dkk, 2019). Pemodelan dengan black-box yang mana sebuah metode pemodelan Autoregressive Moving Average Exogenous (ARMAX) (Branjangan dkk, 2019; Chen dkk, 1990). Keunggulan dari pemodelan ARMAX, mendapatkan hasil data model yang memiliki nilai kecocokan (fitness) yang besar terhadap sistem nyata (Perdana & Rizianiza, 2020). Paper yang ditulis oleh V. Sindhuja et al, telah menyelesaikan RBS lanjut untuk Motor DC BLDC pada motor listrik dengan Teknik pengaturan PWM dengan PID dan ANFIS (Sindhuja dkk, 2014).

Identifikasi sistem seperti terlihat pada Gambar 1. merupakan prosedur untuk memodelkan suatu sistem yang mana hasil dari identifikasi tersebut akan divalidasi untuk melihat model nyata dengan model identifikasi yang dihasilkan, dengan menggunakan informasi data input dan output. Dientifikasi sistem terdapat 2 metode diantaranya non parametric dan parametric (Mangkusamito dkk, 2012; Nusantoro & Muslim, 2012). Selain itu Proses Estimasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, secara online dan offline, dari dua metode proses yang sama adalah pengambilan data input dan output dari suatu sistem seperti yang telah dilakukan oleh Jody Roostandy dkk. dalam identifikasi dengan algoritma genetik (Roostandy dkk, 2011). Pada penelitian yang dilakukan oleh Alfian Ma'arif dkk. telah berhasil melakukan kendali motor DC menggunakan metode PID dengan pendekatan pemodelan identifikasi sistem yang mana mampu memberikan nilai kendali PID yang sesuai untuk spesifikasi motor DC (Ariffudin, 2014; Ma'arif dkk, 2021).



Gambar 1. Struktur dari sistem identifikasi

Tantangan dalam pengembangan metode yang efektif untuk mengendalikan mesin pencampur sabun cair. Masalah tersebut meliputi kurangnya pemahaman yang mendalam tentang karakteristik dinamis mesin pencampur dan kekurangan dalam rancangan sistem kendali yang optimal untuk mencapai pencampuran yang konsisten. Paper ini memiliki tujuan mengembangkan pemodelan black box yang efektif untuk mesin pencampur sabun cair untuk mendapatkan fungsi alih

yang akan digunakan untuk merancang sistem kendali yang optimal. Dengan mengidentifikasi dan memodelkan karakteristik sistem secara matematis, diharapkan dapat mengoptimalkan proses pencampuran pada mesin pencampur sabun cair. Paper ini juga bermanfaat bagi industri pembuatan sabun cair. Dengan mengembangkan pemodelan black box, penelitian ini dapat membantu produsen sabun cair dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi, sehingga pengembang mesin otomatis dapat merancang sistem kendali yang optimal untuk mencapai pencampuran yang konsisten, mengurangi waktu pencampuran, dan menghindari kesalahan operasional. Selain itu, penelitian ini juga dapat berkontribusi dalam pengembangan metode analisis dan perancangan sistem kendali pada mesin pencampur sabun cair secara umum.

Penelitian ini, salah satu aspek penting yang dikaji adalah kekentalan sabun cair. Kekentalan memiliki bagian penting untuk memastikan konsistensi dan kemudahan penggunaan produk sabun cair. Konsistensi yang tepat memungkinkan sabun cair untuk tetap dalam bentuk yang diinginkan, sehingga dapat dengan mudah diaplikasikan. Kekentalan sabun cair diukur menggunakan metode standar ASTM D445 dan ASTM D2196 (Desiyanto & Djannah, 2013). Viskositas adalah ukuran kekentalan, yang menggambarkan sejauh mana sabun cair mengalir dengan perlawanan tertentu terhadap aliran. Hasil pengukuran kekentalan sabun cair kemudian dianalisis untuk menentukan kekonsistenan produk. Dengan mengacu pada standar industri dan pedoman internal perusahaan, para peneliti dapat membandingkan viskositas sabun cair dengan kisaran yang ditetapkan untuk memastikan kualitas dan konsistensi yang diinginkan (Keswara dkk, 2017; Widyasanti dkk, 2017).

Penelitian ini mengidentifikasi bahwa kekentalan yang tepat sangat penting dalam mencapai konsistensi produksi campuran sabun cair. Dengan memahami dan mengukur kekentalan secara akurat, produsen dapat mengoptimalkan formulasi dan proses produksi untuk mencapai konsistensi produk yang diinginkan secara konsisten. Harapannya dapat dikembangkan pemodelan dan sistem kendali yang optimal untuk memastikan kekentalan yang konsisten pada mesin pencampur sabun cair. Hal ini akan membantu produsen sabun cair dalam meningkatkan kualitas, efisiensi produksi, dan kepuasan pelanggan dengan menghasilkan produk sabun cair yang memiliki konsistensi yang baik dalam setiap batch produksi. Dalam penelitian ini, parameter kekentalan sabun cair cuci tangan telah ditentukan menggunakan metode ASTM D445, yang menghasilkan viskositas kinematik sebesar 500 cSt (centistokes) dan metode ASTM D2196, yang menghasilkan viskositas dinamis sebesar 0.8 Pa·s (Pascal-second). Hasil pengukuran ini memberikan informasi yang relevan tentang kekentalan sabun cair cuci tangan yang sedang diteliti.

2. Metode Penelitian

Identifikasi sistem memiliki banyak metode yang bisa diterapkan untuk mendapatkan model yang mewakili sistem nyata. Seperti pendekatan adalah pemodelan white box, grey box dan black box. Pemodelan black box sangat banyak digunakan oleh peneliti dikarenakan sistem kompleks dan kebutuhan waktu untuk memodelkan matematis sangat singkat dengan membutuhkan data input dan output seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Pemodelan black box

Input dan output sistem, dimana input adalah suatu masukan yang diberikan ke dalam sistem sehingga sistem mengeluarkan respon (output) dalam hal ini input yang digunakan pada sistem yaitu Pulse Width Modulation (PWM) berupa tegangan dan respon keluaran dari sistem yaitu kecepatan motor dalam rpm. Respon output didapatkan dari sensor eksternal yaitu encoder seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Encoder motor

Struktur model di representasikan dalam berbagai tipe diantaranya, transfer function model (TF) dan State Space Model (SS). Dimana transfer function model direpresentasikan dalam persamaan 1.

$$V(s) = \frac{N(s)}{D(s)}I(s) + E(s) \quad (1)$$

Dimana, $V(s)$ dan $I(s)$ adalah Transformasi Laplace (LT) dari output dan input, dan $E(s)$ adalah LT dari error. Selain itu $N(s)$ dan $D(s)$ merupakan representasi polinomial Numerator dan Denominator yang berhubungan dengan input dan output. State Space model direpresentasikan dalam persamaan 2.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax(t) + Bi(t) + Ke(t) \\ v(t) &= Cx(t) + Di(t) + e(t) \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana $v(t)$ adalah output dalam domain waktu (t), $i(t)$ adalah input dalam domain waktu (t), $x(t)$ adalah vektor state space dalam domain waktu (t) dan $e(t)$ adalah white noise. Dimana parameter A , B , C , D , dan K adalah matrik state space.

3. Pembahasan

Penelitian ini menggunakan motor DC dengan seri 25GA370 seperti terlihat pada Gambar 4. Dengan spesifikasi terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Motor DC

Parameter	Nilai	Satuan
Nomer Seri	25GA370	
Tegangan	12	V
Arus tanpa beban	<60	mA
Arus dengan beban	<0.45	A
Arus Holding	1.3	A
Rated Torsi	0.1	kg.cm
Max Torsi	0.35	kg.cm
Rotasi tanpa beban	1360	rpm
Rotasi dengan beban	1000	rpm
Rasio gir	1:4.4	

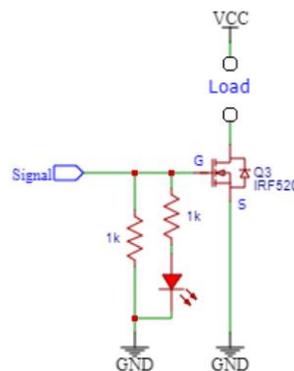


Gambar 4. Motor DC 25GA370

Driver mosfet menyesuaikan dari pemilihan motor DC dimana MOSFET berseri IRF520 dipilih seperti terlihat pada skematik Gambar 5 dan dengan spesifikasi terlihat pada Tabel 2.

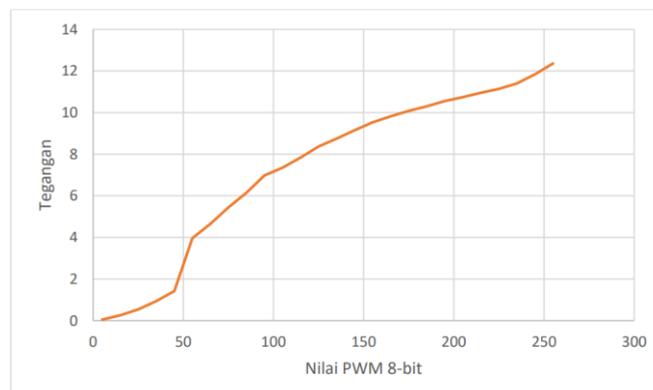
Tabel 2. Spesifikasi MOSFET IRF520

Parameter	Nilai	Satuan
Arus maksimal	5	A
Tegangan Maksimal	100	V
Tegangan kerja gerbang (Vgs)	2 - 4	V



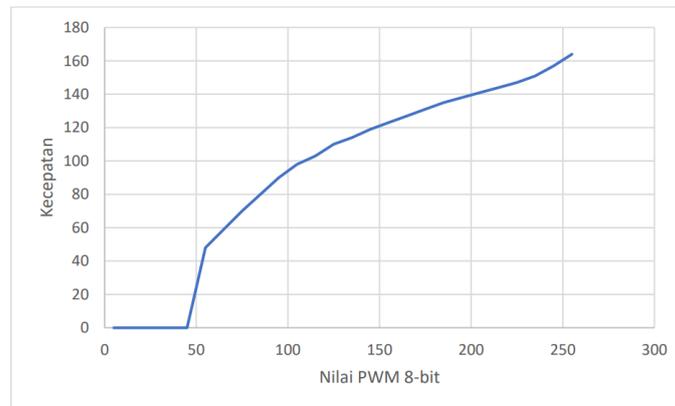
Gambar 5. Skema modul MOSFET IRF520

Pemodelan pada penelitian dilakukan pengujian hubungan sinyal PWM dengan tegangan dan PWM dengan Kecepatan motor DC. Pada tegangan keluaran driver motor pada Gambar 6. menunjukkan grafik tidak linier yang disebabkan dari karakteristik driver MOSFET dan back emf dari Motor DC, dimana mtor DC mulai berputar Ketika tegangan 3.96 V dan sinyal PWM menunjukkan angka 55.



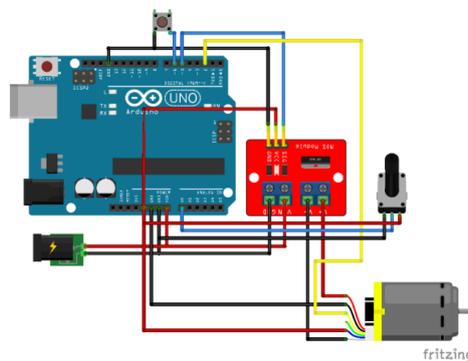
Gambar 6. Grafik PWM dengan tegangan

Pada keluaran kecepatan digunakan waktu cuplik sebesar 150 ms motor DC pada Gambar 7. Menunjukkan bahwa motor DC mulai berputar pada nilai PWM 55 dengan kecepatan 48 pulse/150 ms.



Gambar 7. Grafik PWM dengan Kecepatan

Pemodelan black box penelitian ini menggunakan system identification toolbox pada software MATLAB. Dimana parameter input adalah PWM 8 – bit (0 -255) dalam rentang tegangan 0 – 12 Volts dan output yaitu kecepatan yang didapatkan dari sensor encoder, dimana memiliki tahapan pemodelan 1. Pengambilan time domain data, 2. Identifikasi Fungsi Alih, dan 3. Melihat Respon Input dan Output. Time domain data adalah data yang memiliki informasi input, output, dan waktu. Waktu sampling untuk pengambilan data motor DC adalah 150ms dengan input dari potensiometer seperti terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 adalah kondisi motor DC nyata.

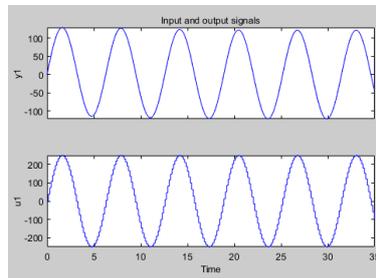


Gambar 8. Skematik akuisisi data Motor DC



Gambar 9. Akuisisi data Motor DC

Gambar 10. menunjukkan data input dan output dari sistem Motor DC pencampur sabun cair, setelah data input dan output didapatkan maka pendekatan estimasi tranfer function dilakukan.



Gambar 10. Input PWM dan Output Kecepatan

Dalam pendekatan transfer function (TF) membutuhkan pilihan zero dan pole untuk sistem, dimana pole merepresentasikan dari denominator dari TF dan zero merepresentasikan numerator dari TF. Gambar 11. Menunjukkan hasil dari estimasi TF untuk zero 0 dan pole 1 (sistem orde 1) dengan nilai fitting sebesar 87.93% dengan hasil transfer function terlihat pada persamaan 3.

$$G(s) = \frac{86.24}{s + 178} \quad (3)$$

```

From input "u1" to output "y1":
  86.24
-----
 s + 178
Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 1  Number of zeros: 0
  Number of free coefficients: 2
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
  Estimated using TFEST on time domain data "data".
  Fit to estimation data: 87.93% (stability enforced)
    
```

Gambar 11. Hasil estimasi pemodelan black box MATLAB

Simulasi respon sistem terlihat pada Gambar 12. yang mana hasil pengamatan waktu tunda = 3 detik, waktu naik = 15 detik, Lonjakan Maksimum = 3%, waktu penetapan = 25,8 detik.



Gambar 12. Respon output terhadap input step

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil viskositas kinematik yang telah ditetapkan 500 cSt, dapat disimpulkan bahwa sabun cair cuci tangan memiliki kekentalan yang sesuai dengan kriteria yang ditetapkan. Nilai viskositas sabun cair cuci tangan memiliki fluks yang memadai, sehingga mudah digunakan saat mencuci tangan tanpa terlalu encer atau terlalu kental. Selain itu, hasil viskositas dinamis 0.8 Pa·s menunjukkan bahwa sabun cair cuci tangan memiliki sifat reologi yang sesuai dengan yang diharapkan.

Pada paper ini telah dilakukan pemodelan motor DC jenis 25GA370 dengan driver MOSFET IRF520 dengan hasil TF $zero$ 0 dan $pole$ 1, nilai fitting sebesar 87.93% didapatkan fungsi transfer sistem $G(s) = 86.24/s + 178$. Hasil dari pemodelan transfer function ini dapat dilakukan perancangan sistem kendali optimal seperti PID atau MPC sehingga dapat mengoptimalkan kinerja dari mesin pencampur sabun otomatis serta dikembangkan pemodelan dengan metode lain.

Daftar Pustaka

- Anta, A., & Rizianiza, I. (2021). Perancangan Sistem Pengendalian Menggunakan Kontroler PID pada Gerakan Pitch dan Roll untuk Stabilitas Attitude Hexacopter. *Simetris*, 11(2), 386–398. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i2.5172>
- Ariffudin, S. D. (2014). Perancangan Sistem Pemanas Pada Rancang Bangun Mesin Pengaduk Bahan Baku Sabun Mandi Cair. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 1(02). <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/6583>
- Branjangan, P. P., Siswojo, B., & Muslim, M. A. J. J. E. (2019). Identifikasi Sistem Plant Kontrol Ketinggian Quadcopter Dengan Metode RLS. *13(2)*, 71-77.
- Chen, S., Billings, S. A., & Grant, P. J. I. j. o. c. (1990). Non-linear system identification using neural networks. *51(6)*, 1191-1214.
- Desiyanto, F. A., & Djannah, S. N. J. N. (2013). Efektivitas mencuci tangan menggunakan cairan pembersih tangan antiseptik (hand sanitizer) terhadap jumlah angka kuman. *7(2)*, 24934.
- Firmawati, N., Farokhi, G., & Wildian, W. J. J. (2019). Rancang Bangun Mesin Pembuat Minuman Kopi Otomatis Berbasis Arduino UNO dengan Kontrol Android. *3(01)*, 25-29.
- huja, V. Sind., & jitham, G. Ran. (2014). Regenerative Braking System of Electric Vehicle Driven By BLDC Motor Using Neuro-Fuzzy and PID. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 03(12), 17847–17854. <https://doi.org/10.15680/ijirset.2014.0312015>
- Keswara, Y. D., Permatasari, N. A. D., Sunarti, & Pramukantoro, G. E. (2017). Pelatihan dan Penyuluhan Pembuatan Sabun Herbal Sederhana Serta Pemasarannya. *Dimas Budi : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Setia Budi*, 1(2), 41–46. <https://doi.org/10.31001/dimasbudi.v1i2.517>
- Mangkusasmito, F., Tadeus, D. Y., & Subari, A. (2020). Implementasi Identifikasi Sistem Metode Black Box Pada Motor Dc Menggunakan Correlation Analysis dan Model Arx. *Gema Teknologi*, 20(4), 134–139. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/gema_teknologi/article/view/29381/17067
- Ma'arif, A., Istiarno, R., & Sunardi. (2021). Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) pada Kecepatan Sudut Motor DC dengan Pemodelan Identifikasi Sistem dan Tuning. *Elkomika*, 9(2), 374–374. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.374>
- Nusantoro, G. D., & Muslim, M. A. J. J. E. (2012). Identifikasi Sistem Plant Suhu dengan Metode Recursive Least Square. *6(1)*, 67-74.
- Roosandy, J., Sumardi, S., & Andromeda, T. (2011). Pengidentifikasian Parameter Fungsi Alih Sistem Pada Plant Simulasi Orde Tiga dan Empat Dengan Metode Algoritma Genetik. *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip*.
- Widyasanti, A., Rahayu, A. T., & Zein, S. (2017). Pembuatan Sabun Cair berbasis Virgin Coconut Oil(VCO) Dengan Penambahan Minyak Melati (Jasminum Sambac) Sebagai Essential Oil. *Teknotan : Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, 11(2), 1–1. <https://doi.org/10.24198/jt.vol11n2.1>