

Pengendalian Simulator *Water Supply System* menggunakan PID Berdasarkan Identifikasi

ERWANI MERRY SARTIKA, NOVIE THERESIA BR. PASARIBU, RUDI SARJONO, REYNALDY FELICIUS GUNAWAN, CHRISENDY HALIM

Universitas Kristen Maranatha, Indonesia

Email: erwanimerry@gmail.com ; erwani.ms@maranatha.ac.id

Received 6 Agustus 2021 | *Revised* 30 Agustus 2021 | *Accepted* 30 September 2021

ABSTRAK

Water supply system dari sumber ke pengguna merupakan layanan penting, sehingga perlu dirancang untuk menyediakan air dengan tingkat tekanan yang cukup. Pengendalian water supply system dipengaruhi oleh kombinasi pemasangan pompa secara paralel dan seri untuk menghasilkan performansi yang dibutuhkan. Plant simulator water supply system dirancang dalam beberapa jenis instalasi yaitu pompa tunggal, pompa seri, pompa paralel, dan keran sebagai gangguan. Selain pengaruh instalasi, pengendalian plant simulator menggunakan PID diperlukan untuk menghasilkan tekanan air yang diinginkan. Plant simulator untuk setiap instalasi dimodelkan menggunakan identifikasi sistem, sehingga proses pengendalian dapat dirancang secara simulasi sebelum diimplementasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa instalasi pompa paralel pada plant simulator water supply system memberikan rata-rata penurunan tekanan air terkecil bila diberi gangguan yaitu sebesar 16,92% untuk setiap dilakukan pembukaan keran.

Kata kunci: *water supply, pompa seri paralel, identifikasi, simulator, PID*

ABSTRACT

Water supply system from source to user is an important service, so it needs to be designed to provide water with sufficient pressure level. The control of the water supply system is influenced by a combination of pump installation in parallel and series to produce the required performance. The plant simulator water supply system is designed in several types of installations, namely single pumps, series pumps, parallel pumps, and faucets as disturbances. In addition to the effect of installation, plant simulator control using PID is needed to produce the desired water pressure. The plant simulator for each installation is modeled using system identification, so that the control process can be designed in a simulation before being implemented. The results of this study indicate that the parallel pump installation on the plant simulator water supply system provides the smallest average drop in water pressure when disturbed, which is 16.92% for each tap opening.

Keywords: *water supply, parallel series pump, identification, simulator, PID*

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya pompa digunakan untuk menaikkan fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi dengan menggunakan pipa (**Mustakim, 2015**). Prinsip kerja pompa adalah membuat tekanan rendah pada saluran isap, sehingga fluida akan terhisap masuk dan mengeluarkannya pada sisi tekan atau sisi keluar dengan tekanan yang lebih tinggi (**Helmizar, dkk, 2019**). Pompa juga memiliki variasi sehingga karakteristiknya berbeda-beda (**Susana & Sutanto, 2016**). Hal ini bertujuan agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat.

Water supply system diperoleh dari air di sekitar lingkungan, yang kemudian diolah, sehingga dapat didistribusikan untuk memenuhi permintaan konsumsi penduduk (**Putra, dkk, 2020**). Pengoperasian pompa secara seri atau paralel dirancang agar karakteristik yang diinginkan dapat dicapai dalam pembangunan sistem pasokan air (**Flores, dkk, 2019**). Dengan menggunakan beberapa pompa yang dipasang secara seri dan paralel pada suatu sistem aliran air dapat memenuhi kebutuhan air yang tidak dapat dipenuhi oleh sistem aliran air dengan pompa tunggal (**Syahrizal & Perdana, 2020**). Pompa adalah komponen kunci dalam sistem pasokan air untuk memberikan tekanan yang cukup. Namun keandalan pompa sulit untuk ditentukan dan diprediksi (**Lai, dkk, 2020**). Ketidakcocokan pemasangan pompa dapat mengakibatkan kerugian biaya baik dari segi pemasangan ataupun biaya operasional sistem aliran air tersebut (Pranata dkk, 2013).

Plant simulator merupakan suatu model alat yang menyerupai sistem sebenarnya (**Glovatskiy, dkk, 2019**). *Plant simulator* pada dasarnya difungsikan sebagai gambaran suatu sistem sebelum sistem tersebut dibangun. Hal ini dilakukan untuk mengurangi risiko kegagalan yang dapat menyebabkan kerugian. Dengan menggunakan sebuah simulasi pada sebuah *plant simulator*, maka hal tersebut dapat mengurangi risiko terjadinya kerusakan pada *plant simulator*. Identifikasi sistem adalah suatu cara menentukan model matematis dari suatu sistem dinamis dengan melakukan percobaan pengambilan data input dan output (**Sartika, dkk, 2021**). Model yang teridentifikasi dapat digunakan untuk berbagai simulasi salah satunya untuk perancangan sistem kendali dari sistem tersebut (**Sartika, 2019**). Tuning pengendali PID digunakan menemukan nilai parameter terbaik sehingga diperoleh kinerja yang diinginkan (**Samin, dkk, 2011**).

Oleh karena kebutuhan *water supply system* dari sumber ke pengguna perlu dirancang untuk menyediakan air dengan tingkat tekanan yang cukup, maka *plant simulator water supply system* dirancang dalam berbagai instalasi pompa (pompa seri, pompa paralel) dengan keran sebagai gangguan. Model hasil diidentifikasi digunakan pengendali PID agar *plant simulator* menghasilkan tekanan air yang diinginkan (sesuai kemampuan pompa) tanpa resiko kerusakan. Maka pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian *plant simulator water supply system* menggunakan pengendali PID melalui model hasil identifikasi.

2. METODE

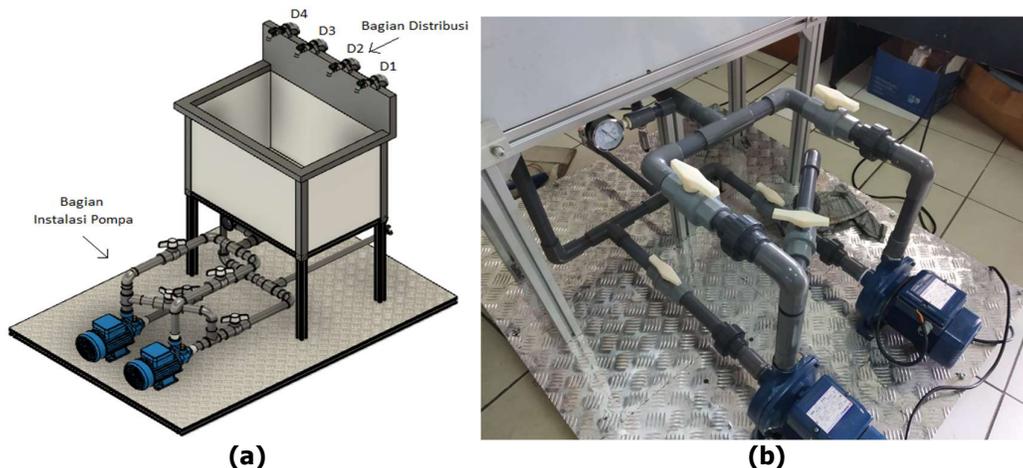
Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap untuk mengendalikan prototipe/simulator *water supply system*. Diawali dengan penjelasan *plant simulator water supply system* yang digunakan yang mempunyai pemilihan instalasi pompa yaitu pompa paralel dan

pompa seri. Untuk mengendalikan plant simulator tersebut diperlukan perancangan perangkat keras untuk pengendaliannya. Pengendalian tekanan pompa akan dilakukan berdasarkan identifikasi model/persamaan dari karakteristik plant simulator *water supply system* sehingga perlu pengambilan data *input* dan *output* terlebih dahulu. Simulasi tuning pengendali PID pada plant berdasarkan hasil identifikasi diperlukan untuk memperoleh parameter PID yang akan digunakan untuk pengendalian tekanan pompa pada plant *water supply system* secara *real*.

2.1 Plant Simulator Water Supply System

Dalam pengoperasian pompa, susunan pemompaan bervariasi. Instalasi dapat terpasang secara paralel dan seri, dan ada juga yang terpasang secara seri paralel (**Syahrizal & Perdana, 2020**). Dalam penelitian ini *plant simulator* yang digunakan adalah *plant simulator water supply system*. *Plant simulator* ditunjukkan seperti pada Gambar 1. *Plant simulator water supply system* terdiri dari 2 bagian yaitu bagian sistem perpipaan untuk jalur instalasi pompa dan bagian sistem perpipaan untuk distribusi air.

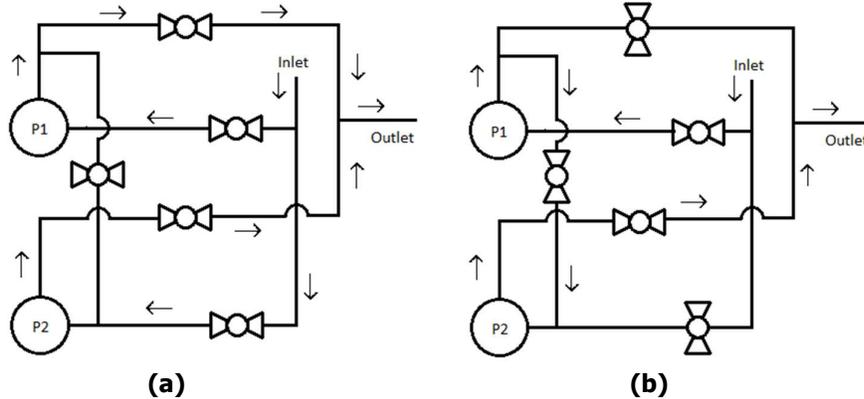
Pada bagian transisi sistem perpipaan jalur instalasi pompa dengan sistem perpipaan distribusi terdapat sebuah sensor yang berfungsi untuk mengukur tekanan air dalam pipa tersebut. Tekanan air pada pipa ini sangat dipengaruhi dengan jalur distribusi ataupun jalur instalasi pompa yang sedang dioperasikan. Pada umumnya instalasi pompa tidak akan berubah ketika beroperasi, sedangkan jalur distribusi dapat berubah sewaktu-waktu sehingga jalur distribusi dapat diasumsikan sebagai gangguan. Jalur distribusi yang digunakan bergantung pada bukaan keran. Bukaan keran pada *plant* terdiri dari 4 jenis pembukaan yang dilakukan dari keran paling kanan pada *plant* yaitu 1 bukaan, 2 bukaan, 3 bukaan, dan 4 bukaan. Perubahan menjadi 2 – 4 bukaan ini diasumsikan sebagai gangguan pada *plant simulator water supply system*. Bukaan keran dilakukan secara *full* sehingga hanya terdapat 2 kondisi yaitu terbuka penuh atau tertutup penuh. Sedangkan untuk jalur instalasi pompa terdapat 4 macam yaitu pompa tunggal 1, pompa tunggal 2, pompa paralel dan pompa seri.



Gambar 1. Plant Simulator Water Supply System (a) Rancangan dan (b) Realisasi

Cara kerja pada *plant simulator water supply system* yaitu ketika instalasi pompa dan jalur distribusi telah ditentukan kemudian dioperasikan maka pompa akan menghisap air yang ada pada tangki penyimpanan melalui jalur asal air (*inlet*) kemudian air dipompa

ke jalur transisi (*outlet*) sebelum didistribusikan dan kembali pada tangki penyimpanan. Untuk melakukan instalasi pompa paralel dan pompa seri dapat dilihat pada Gambar 2.

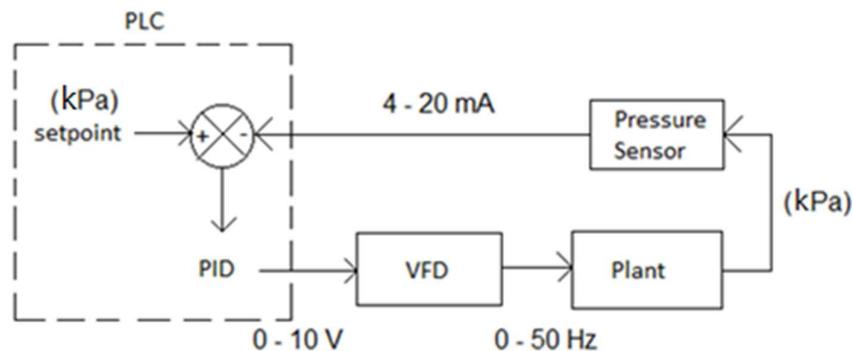


Gambar 2. (a) Aliran Air untuk Pompa Paralel dan (b) Aliran Air untuk Pompa Seri

Pada Gambar 2(a) instalasi pompa terpasang paralel, P1 (pompa 1) dan P2 (pompa2) akan menghisap air yang ada pada tangki penyimpanan melalui jalur asal air (*inlet*) secara bersamaan kemudian masuk ke jalur transisi (*outlet*) sebelum didistribusikan dan kembali pada tangki penyimpanan. Sedangkan Gambar 2(b) instalasi pompa terpasang seri, P1 (pompa 1) akan menghisap air terlebih dahulu yang ada pada tangki penyimpanan melalui jalur asal air (*inlet*), P2 (pompa 2) menghisap air yang diterima dari P1 (pompa 1), selanjutnya air masuk ke jalur transisi (*outlet*) sebelum didistribusikan dan kembali pada tangki penyimpanan.

2.2 Perancangan Pengendalian *Plant Simulator Water Supply System*

Sistem kendali yang dirancang adalah sistem kendali umpan balik negatif. Selisih antara *set point* dengan nilai hasil pembacaan *pressure sensor* digunakan untuk menentukan besar sinyal kendali yang akan dihasilkan PID. *Programmable Logic Controller* (PLC) dengan tipe TM221CE24R, kemudian akan mengendalikan motor pompa melalui *Variable Frequency Drive* (VFD) (Elkamel, 2018) dengan memberikan sinyal kendali yang dihasilkan PID (tegangan 0 – 10 V). Sinyal ini kemudian digunakan oleh VFD untuk dikonversi menjadi frekuensi tertentu (0 – 50 Hz) yang kemudian frekuensi ini digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar motor pompa pada *plant*. Variabel kontrol pada sistem ini adalah tekanan air yang dihasilkan *plant*. *Plant* bergantung dengan jalur instalasi pompa dan jalur distribusi yang digunakan. Gambar 3 merupakan diagram blok sistem kendali *Plant Simulator Water Supply System*.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Kendali *Plant Simulator Water Supply System*

2.3 Identifikasi Plant Simulator *Supply System*

Pengambilan data *input-output* sistem dilakukan dengan mengkondisikan sistem *loop* terbuka (**Nakabayashi, dkk, 2013**). Pengambilan data output akan dilakukan berdasarkan kondisi *plant* yaitu terhadap instalasi pompa dan jalur distribusi (bukaan keran). Setiap instalasi pompa akan dilakukan pengambilan data *input* (tegangan) dan data *output* (menggunakan sensor tekanan) sebanyak 3 kali percobaan untuk setiap dilakukan pembukaan keran. Pengambilan data dilakukan selama 1 menit dengan waktu sampling sebesar 200 ms. Tabel 1 adalah contoh pengambilan data *output* tekanan pada masing-masing bukaan keran dengan *input* step (10 Volt) untuk identifikasi pada pompa 1. Setelah proses pengambilan data telah dilakukan, kemudian data-data tersebut akan digunakan untuk identifikasi sistem.

Tabel 1. Data *Output* Tekanan dengan Input Step (10V) untuk 3 Percobaan Pompa Tunggal 1 Terhadap Bukaan Keran

Waktu (ms)	Percobaan 1				Percobaan 2				Percobaan 3			
	1 Keran (kPa)	2 Keran (kPa)	3 Keran (kPa)	4 Keran (kPa)	1 Keran (kPa)	2 Keran (kPa)	3 Keran (kPa)	4 Keran (kPa)	1 Keran (kPa)	2 Keran (kPa)	3 Keran (kPa)	4 Keran (kPa)
200	3	19	7	3	3	12	2	2	3	8	5	3
400	16	61	16	11	16	27	15	8	27	29	14	10
600	69	126	94	18	54	83	24	47	68	126	47	17
800	172	122	90	69	110	129	88	65	117	122	87	68
1000	170	122	85	70	157	128	87	64	139	127	87	67
1200	169	121	90	70	167	130	91	65	169	125	87	65
1400	177	124	86	64	173	129	90	65	169	125	90	65
1600	172	122	86	53	175	127	93	64	174	126	90	56
1800	175	122	87	50	173	122	86	64	173	125	87	62
2000	172	118	87	56	173	125	86	62	177	122	89	62
2200	176	127	88	65	173	128	87	56	175	122	85	62
2400	172	124	87	63	174	127	89	65	176	120	89	66
.
.
.
58200	177	124	89	68	170	121	88	61	176	122	87	66
58400	173	122	87	67	170	124	87	63	171	123	87	64
58600	171	122	90	66	169	122	87	69	170	126	89	63
58800	175	121	92	64	171	122	88	66	170	125	92	57
59000	169	124	90	66	169	122	91	62	170	120	94	62
59200	167	125	86	60	173	122	89	67	173	121	87	62
59400	169	126	90	64	174	123	89	65	167	122	86	62
59600	169	124	87	61	178	122	90	68	169	125	86	64
59800	168	125	89	65	176	123	90	65	170	122	89	59
60000	172	122	86	66	172	119	85	66	168	126	88	65

Metoda Identifikasi sistem yang digunakan adalah metode RLS (*Recursive Least Square*) (Sartika dkk., 2020) dan metoda validasinya adalah *Whiteness test* (**Elbani, 2019**). Metode *least square* memiliki *gain adaptation* dalam proses identifikasinya. Persamaan (1) adalah persamaan metode *Least Square* (**Sartika, dkk, 2020**) yang digunakan untuk mengidentifikasi model *plant simulator water supply system*.

$$\begin{aligned}
\hat{y}(t+2) &= -\hat{a}_0 y(t+1) - \hat{a}_1 y(t) + \hat{b}_0 u_1(t) = \hat{\theta}^T \phi(t) \\
\hat{\theta}^T &= [\hat{a}_0 \ \hat{a}_1 \ \hat{b}_0] \\
\phi(t)^T &= [-y(t+1) \ -y(t) \ u_1(t)] \\
e(t+1) &= y(t+1) - \hat{y}(t+1) \\
F(0) &= \frac{1}{\delta} I ; \ 0 < \delta \ll 1 \\
F(t+1) &= F(t) - \frac{F(t)\phi(t)\phi(t)^T F(t)}{1 + \phi(t)^T F(t)\phi(t)} \\
\hat{\theta}(t+1) &= \hat{\theta}(t) + F(t+1)\phi(t)e(t+1)
\end{aligned} \tag{1}$$

Keterangan :

$\hat{y}(t+1)$ = estimasi data <i>output</i> (tekanan)	$u(t)$ = nilai data <i>input</i> (tegangan ke pompa)
$\hat{\theta}^T$ = vektor parameter	$e(t)$ = <i>error</i>
\hat{a}_n dan \hat{b}_m = parameter estimasi pole dan zero	$F(t)$ = <i>gain adaptation</i>
$\phi(t)^T = [-y(t+1) - y(t), u(t)]$ = vektor pengukuran	I = matriks identitas
$y(t)$ = nilai data <i>output</i> (tekanan air)	$F(t+1)$ = prediksi <i>gain adaptation</i>
	$\hat{\theta}(t+1)$ = prediksi vektor parameter estimasi

Whiteness test adalah metode validasi untuk model hasil identifikasi metode seperti *Recursive Least Square*. Validasi *Whiteness test* dilaksanakan dengan menghitung $RN(0)$ dan $RN(i)$ dari error prediksi, sedangkan nilai $RN(0)$ dan $RN(i)$ didapat dengan Persamaan (2), Persamaan (3), Persamaan (4), dan Persamaan (5) **(Elbani, 2019)**.

$$R(0) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon^2(t) \tag{2}$$

$$RN(0) = \frac{R(0)}{R(0)} = 1 \tag{3}$$

$$R(i) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon(t)\varepsilon(t-i); \ i=1,2,3,\dots,i_{\max} \tag{4}$$

$$RN(i) = \frac{R(i)}{R(0)} \tag{5}$$

$$|RN(i)| \leq \frac{2.17}{\sqrt{N}}; \ i \geq 1 \tag{6}$$

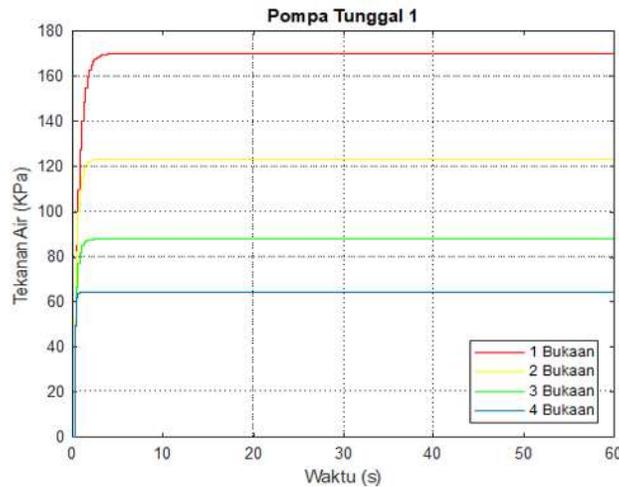
Keterangan: N adalah banyaknya jumlah sampel data.

Terdapat 4 model yang diidentifikasi yaitu dengan menggunakan pompa tunggal 1, pompa tunggal 2, pompa parallel, dan pompa seri. Identifikasi dilakukan dengan menentukan orde model pada masing-masing percobaan dan model yang dipilih adalah model dengan nilai $RN(i)$ terkecil yang memenuhi kriteria validasi seperti ditunjukkan pada Persamaan (6). Hasil identifikasi ke-4 model pompa *plant simulator water supply system* terhadap 1 hingga 4 bukaan hasil identifikasi yang terbaik yaitu dengan memiliki nilai $RN(i)$ terkecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Identifikasi Pompa Tunggal 1 Terhadap Bukaannya Keran

	Persamaan Diskrit (kPa/V)	RN(1)	Tekanan Air (kPa)	Penurunan Tekanan Air (%)
1 Bukaannya	$\frac{4,9749}{z - 0,7075}$	0,0256	170	-
2 Bukaannya	$\frac{5,2348}{z - 0,5757}$	0,0172	123	27,64
3 Bukaannya	$\frac{4,8948z}{z^2 - 0,3506z - 0,093}$	0,0173	88	28,45
4 Bukaannya	$\frac{4,9404z}{z^2 - 0,2406z + 0,0129}$	0,0276	64	27,27

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi pengaruh bukaannya keran terhadap respon tekanan air menggunakan pompa tunggal 1. Grafik menunjukkan bahwa respon tekanan air memiliki grafik yang tidak jauh berbeda dan hanya terjadi penurunan yang memiliki rata-rata hampir sama. Seperti pada Pompa Tunggal 1, memiliki rata-rata penurunan 27,78% sehingga dapat menggunakan model dengan 1 bukaannya sebagai acuan. Simulasi yang dilakukan untuk Pompa Tunggal 1, diterapkan juga untuk Pompa Tunggal 2, Pompa Paralel, dan Pompa Seri.



Gambar 4. Pengaruh Bukaannya Keran Terhadap Respon Tekanan Air Menggunakan Pompa Tunggal 1

Hasil simulasi yang menunjukkan kondisi yang memiliki karakteristik yang polanya mirip dengan Pompa Tunggal 1. Bila pada Pompa Tunggal 1 menunjukkan rata-rata penurunan tekanan air sebesar 27,78% untuk setiap dilakukan pembukaannya keran, Pompa Tunggal 2 menunjukkan rata-rata penurunan tekanan air sebesar 28,96%, Pompa Paralel menunjukkan rata-rata penurunan tekanan air sebesar 16,92% untuk setiap dilakukan pembukaannya keran, sedangkan Pompa Seri menunjukkan rata-rata penurunan tekanan air sebesar 37,5%. Dengan mengasumsikan model dengan 1 bukaannya adalah model tetap pompa, maka persamaan diskrit untuk masing-masing pompa ditunjukkan pada Tabel 3. Persen penurunan pada pompa paralel paling kecil

dibandingkan dengan instalasi yang lain, menunjukkan bahwa instalasi pompa paralel paling baik dalam mengatasi adanya gangguan (perubahan bukaan keran).

Tabel 3. Persamaan Diskrit Untuk Setiap Pompa Pada *Plant Simulator Water Supply System*

Pompa	Persamaan Diskrit (kPa/V)
Pompa Tunggal 1	$\frac{4,9749}{z - 0,7075}$
Pompa Tunggal 2	$\frac{7,3816}{z - 0,5638}$
Pompa Paralel	$\frac{15,0333}{z - 0,2153}$
Pompa Seri	$\frac{12,6289}{z - 0,5853}$

2.4 Tuning PID *Plant Simulator Water Supply System* untuk Setiap Pompa

Tuning PID dilakukan dengan menggunakan *Ziegler Nichols closed loop method* (Ogata, 2010) untuk menentukan pengendali yang akan digunakan. Dengan menggunakan *root locus* pada setiap model pompa sehingga didapatkan parameter P, I, dan D sesuai aturan *Ziegler Nichols*. Kemudian *fine tuning* dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter PID yang terbaik. Dari hasil tuning PID yang telah dilakukan, didapat nilai parameter PID pada setiap pompa untuk *set point* 1 yang ditunjukkan pada Tabel 4. Pengendali terbaik yang dipilih adalah pengendali PI dengan Proporsional sebesar 0,04 -0,15 dan Integral sebesar 0,1 – 0,125 untuk keseluruhan instalasi pompa.

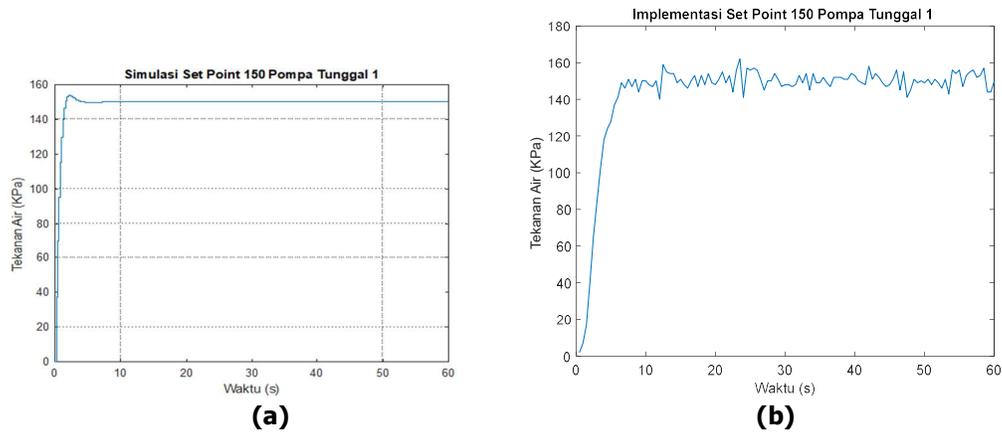
Tabel 4. Parameter PID Untuk Setiap Pompa

Pompa	P	I	RiseTime (s)	SettlingTime (s)	Overshoot (%)
Pompa Tunggal 1	0,15	0,125	1,170	1,912	0
Pompa Tunggal 2	0,075	0,125	0,770	2,369	0
Pompa Paralel	0,04	0,125	0,941	1,284	0
Pompa Seri	0,04	0,1	0,770	2,027	2,8

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Pengendalian *Plant Simulator Water Supply System* dengan Instalasi Pompa Tunggal 1

Untuk menguji pengendalian respon model instalasi pompa tunggal 1 maka digunakan *set point* yang berbeda. Hasil pengendalian untuk nilai *set point* sebesar 150 kPa ditunjukkan pada Gambar 5 untuk perbandingan hasil simulasi dengan hasil implementasi. Hasil implementasi menunjukkan pengendalian dengan pompa tunggal 1 dapat dilakukan untuk *set point* yang berbeda dengan *settling time* sebesar 2,6 detik dan 1,6 detik untuk hasil simulasi.



Gambar 5. Pengendalian Pada Pompa Tunggal 1 Dengan *Set Point* 150 (a) Hasil Simulasi dan (b) Hasil Implementasi

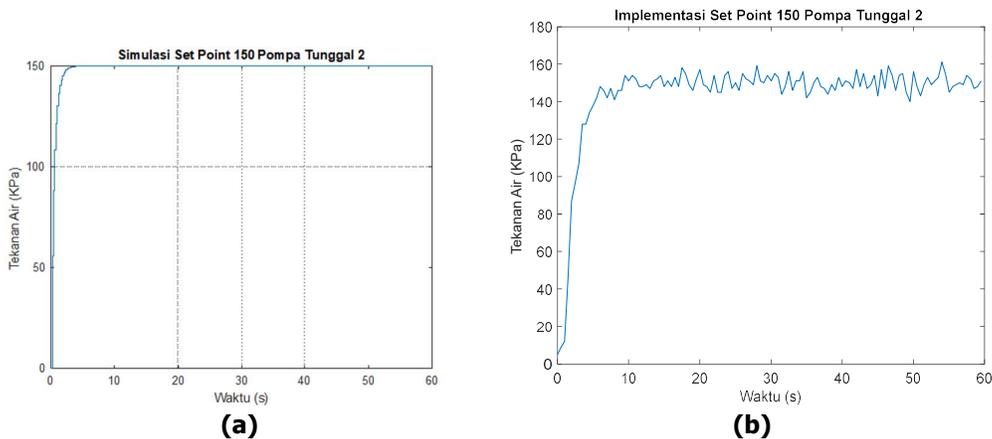


Gambar 6. Simulasi Pengendalian Pompa Tunggal 1 Terhadap Buka-an Kran Dengan *Set Point* 50 kPa

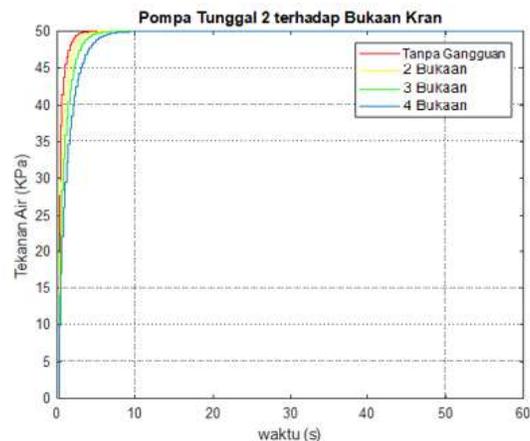
Gambar 6 adalah hasil simulasi dengan gangguan (2 bukaan, 3 bukaan, dan 4 bukaan keran). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem tetap mampu mencapai *set point* untuk setiap pembukaan keran. Sistem tanpa gangguan (1 bukaan) mampu mencapai *set point* dengan waktu 4,241 detik, 5,095 detik untuk 2 bukaan, 6,006 detik untuk 3 bukaan, dan 7,657 detik untuk 4 bukaan.

3.2 Pengujian Pengendalian *Plant Simulator Water Supply System* Dengan Instalasi Pompa Tunggal 2

Untuk menguji pengendalian respon model instalasi pompa tunggal 2 maka digunakan *set point* yang berbeda. Hasil pengendalian untuk nilai *set point* yang berbeda yaitu sebesar 150 KPa ditunjukkan pada Gambar 7 untuk perbandingan hasil simulasi dengan hasil implementasi. Hasil implementasi menunjukkan pengendalian dengan pompa tunggal 2 dapat dilakukan untuk *set point* yang berbeda dengan *settling time* sebesar 3,8 detik dan 2,8 detik untuk hasil simulasi.



Gambar 7. Pengendalian Pada Pompa Tunggal 2 Dengan *Set Point* 150 (a) Hasil Simulasi dan (b) Hasil Implementasi

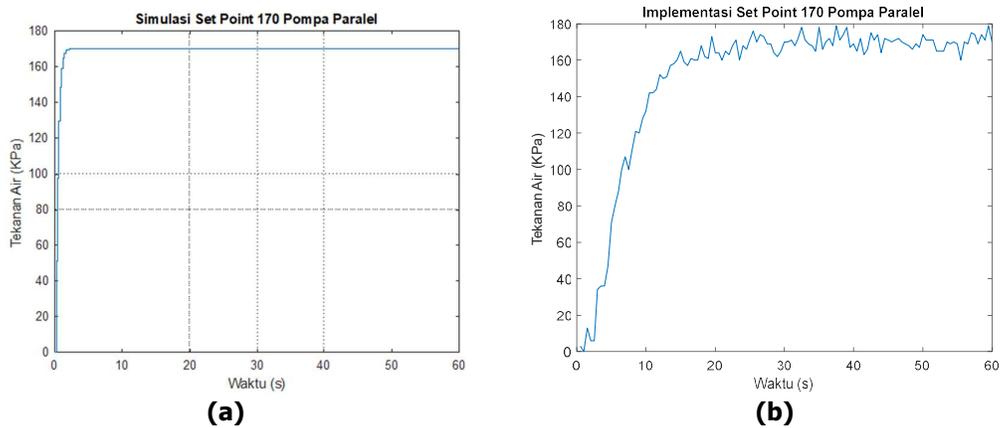


Gambar 8. Simulasi Pengendalian Pompa Tunggal 2 Terhadap Bukaannya Kran Dengan *Set Point* 50 kPa

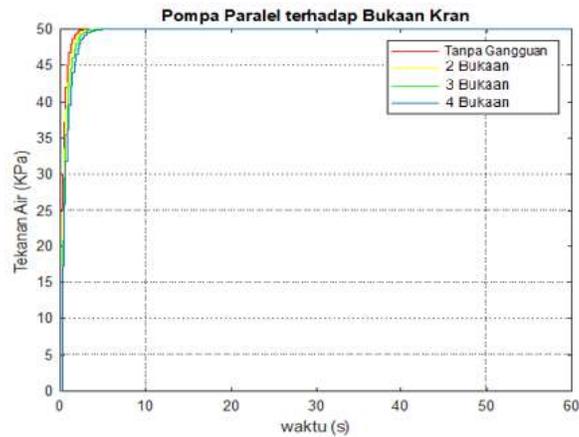
Gambar 8 adalah hasil simulasi dengan gangguan (2 bukaan, 3 bukaan, dan 4 bukaan keran). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem tetap mampu mencapai *set point* untuk setiap pembukaan keran. Sistem tanpa gangguan (1 bukaan) mampu mencapai *set point* dengan waktu 2,647 detik, 3,444 detik untuk 2 bukaan, 4,639 detik untuk 3 bukaan, dan 6,518 detik untuk 4 bukaan.

3.3 Pengujian Pengendalian *Plant Simulator Water Supply System* Dengan Instalasi Pompa Paralel

Untuk menguji pengendalian respon model instalasi pompa paralel maka digunakan *set point* yang berbeda. Hasil pengendalian untuk nilai *set point* yang berbeda yaitu sebesar 170 kPa ditunjukkan pada Gambar 9 untuk perbandingan hasil simulasi dengan hasil implementasi. Hasil implementasi menunjukkan pengendalian dengan pompa paralel dapat dilakukan untuk *set point* yang berbeda dengan *settling time* sebesar 7,2 detik dan 1,8 detik untuk hasil simulasi. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara ke dua pompa yang terpasang pada paralel, sehingga menyebabkan adanya perbedaan saat diuji saat implementasi dibanding simulasi, namun demikian tekanan air yang dihasilkan saat implementasi tetap mencapai *set point* yang diinginkan.



Gambar 9. Pengendalian Pada Pompa Paralel Dengan *Set Point* 170 (a) Hasil Simulasi dan (b) Hasil Implementasi

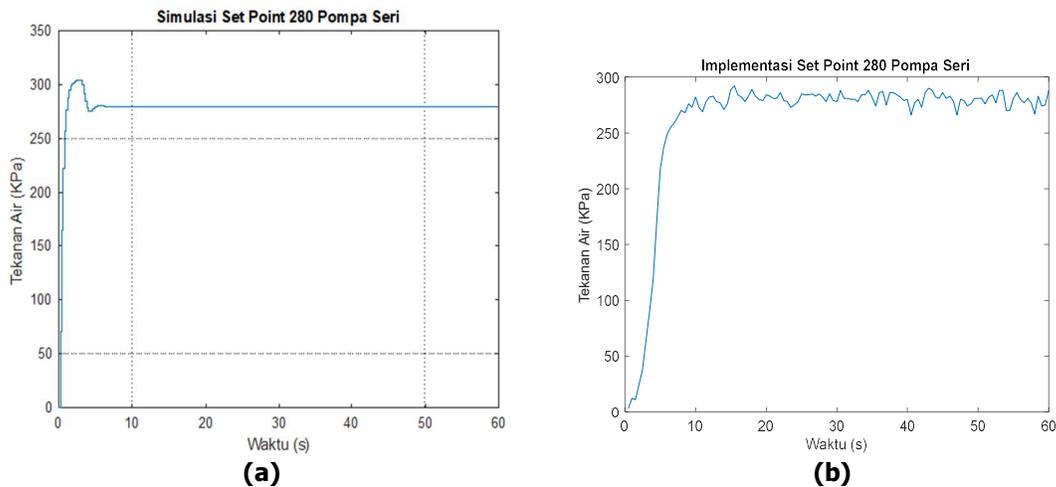


Gambar 10. Simulasi Pengendalian Pompa Paralel Terhadap Bukaannya Kran Dengan *Set Point* 50 kPa

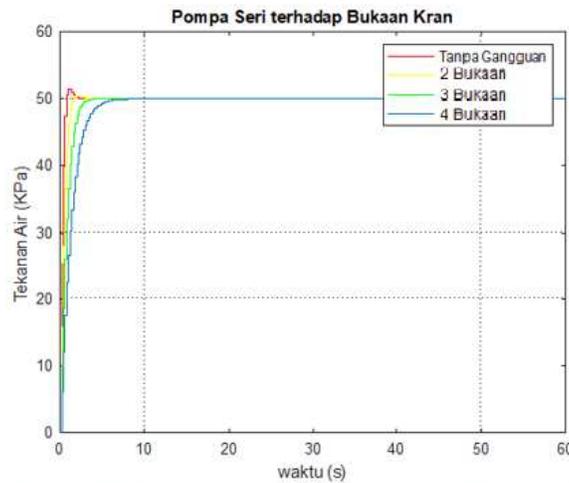
Gambar 10 adalah hasil simulasi dengan gangguan (2 bukaan, 3 bukaan, dan 4 bukaan kran). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem tetap mampu mencapai *set point* untuk setiap pembukaan kran. Sistem tanpa gangguan (1 bukaan) mampu mencapai *set point* dengan waktu 2,021 detik, 2,362 detik untuk 2 bukaan, 2,647 detik untuk 3 bukaan, dan 3,330 detik untuk 4 bukaan.

3.4 Pengujian Pengendalian *Plant Simulator Water Supply System* dengan Instalasi Pompa Seri

Untuk menguji pengendalian respon model instalasi pompa seri maka digunakan *set point* yang berbeda. Hasil pengendalian untuk nilai *set point* yang berbeda yaitu sebesar 280 kPa ditunjukkan pada Gambar 11 untuk perbandingan hasil simulasi dengan hasil implementasi. Hasil implementasi menunjukkan pengendalian dengan pompa seri dapat dilakukan untuk *set point* yang berbeda dengan *settling time* sebesar 4 detik dan 3,8 detik untuk hasil simulasi.



Gambar 11. Pengendalian Pada Pompa Seri Dengan *Set Point* 280 (a) Hasil Simulasi dan (b) Hasil Implementasi

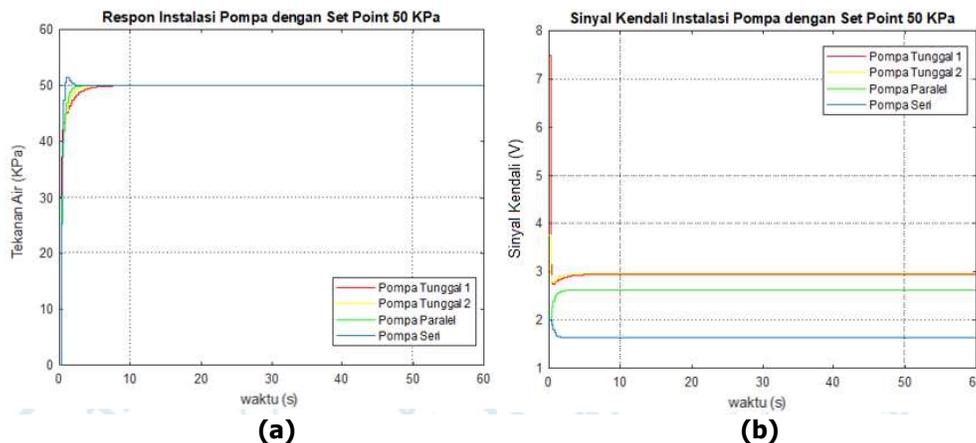


Gambar 12. Simulasi Pengendalian Pompa Seri Terhadap Bukaannya Kran Dengan *Set Point* 50 kPa

Gambar 12 adalah hasil simulasi dengan gangguan (2 bukaan, 3 bukaan, dan 4 bukaan keran). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem tetap mampu mencapai *set point* untuk setiap pembukaan keran. Sistem tanpa gangguan (1 bukaan) mampu mencapai *set point* dengan waktu 1,964 detik dengan *overshoot* 2,8%, 2,533 detik untuk 2 bukaan dengan *overshoot* 0,76%, 2,875 detik untuk 3 bukaan, dan 5,266 detik untuk 4 bukaan.

3.5 Perbandingan Respon *Plant Simulator Water Supply System* antara Pompa Tunggal 1, Pompa Tunggal 2, Pompa Paralel, dan Pompa Seri.

Untuk melihat perbandingan kinerja dari penggunaan instalasi pompa tunggal 1, pompa tunggal 2, pompa paralel, dan pompa seri pada *plant simulator water supply system* maka dibuat simulasi pada masing-masing instalasi pompa dengan *set point* yang sama yaitu 50 kPa.



Gambar 13. (a) Respon Setiap Pompa (a) dan Sinyal Kendali (b) Setiap Pompa Untuk *Set Point* 50kPa

Tabel 5. Settling Time Untuk Setiap Jenis Pompa

Jenis Pompa	Jumlah bukaan	Settling Time (s)	Jenis pompa	Jumlah bukaan	Settling Time (s)
Pompa 1	1 keran	4,241	Pompa Paralel	1 keran	2,021
	2 keran	5,095		2 keran	2,362
	3 keran	6,006		3 keran	2,647
	4 keran	7,657		4 keran	3,33
Pompa 2	1 keran	2,647	Pompa Seri	1 keran	1,964
	2 keran	3,444		2 keran	2,533
	3 keran	4,639		3 keran	2,875
	4 keran	6,518		4 keran	5,266

Berdasarkan Gambar 13, setiap pompa mampu mencapai *set point* sebesar 50 kPa. Pada pompa seri menunjukkan penggunaan tegangan (sinyal kendali) paling rendah dibandingkan pompa lainnya. Sedangkan pada pompa paralel meski tegangan yang digunakan lebih rendah dibandingkan pompa tunggal 1 dan pompa tunggal 2, namun respon yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan kedua pompa tunggal.

Berdasarkan Tabel 5, waktu untuk mencapai *set point* (*settling time*) pada pompa paralel menunjukkan perbedaan yang signifikan dan paling stabil di sekitar 2-3 detik untuk setiap pengaruh gangguan (jumlah bukaan keran). Sedangkan untuk pompa 1 dan pompa 2 walaupun jenisnya identik, namun memiliki *settling time* yang jauh berbeda. Hal ini kemungkinan disebabkan disain instalasi pada kedua pompa tidak setara sehingga tidak menghasilkan *settling time* yang mirip. Pada pompa seri terdapat *overshoot*, hal ini kemungkinan disebabkan adanya daya dorong yang berlipat di awal walaupun *settling time* di bukaan 1-3 keran cukup baik.

Pengaruh nilai pengendali PID yang telah ditetapkan pada Tabel 4. Hasil disain berdasarkan simulasi tentunya berpengaruh untuk mencapai *set point*, namun memiliki *settling time* yang berbeda untuk setiap jenis pompa. Secara keseluruhan nilai *Proporsional* dan *Integral* yang paling berpengaruh untuk mencapai *set point*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Plant Simulator water supply system* dengan instalasi pompa tunggal 1, instalasi pompa tunggal 2, instalasi pompa paralel, dan instalasi pompa seri berhasil diidentifikasi. Pada masing-masing instalasi, memiliki rata-rata penurunan yang hampir sama sehingga dapat menggunakan model dengan 1 bukaan sebagai acuan. Instalasi pompa paralel adalah instalasi pompa yang paling mampu menjaga tekanan air terhadap bukaan keran (rata-rata 16,9% dari tekanan air sebelumnya) dibandingkan instalasi pompa lainnya pada *plant simulator water supply system*. Sistem kendali pada *water supply system* berhasil dirancang berdasarkan model hasil identifikasi dan pengendali PI dengan *Proporsional* sebesar 0,04 -0,15 dan *Integral* sebesar 0,1 – 0,125 untuk seluruh instalasi pompa. Berdasarkan hasil implementasi sistem kendali pada *plant simulator water supply system*, respon instalasi pompa tunggal 1 dan pompa tunggal 2 memiliki respon yang paling mendekati dengan hasil simulasi, sedangkan respon instalasi pompa paralel dan pompa seri lebih lambat dibandingkan dengan hasil simulasi. Interaksi antara ke dua pompa yang terpasang pada instalasi seri dan paralel mempengaruhi kinerja yang dihasilkan berbeda dengan simulasi, namun pengendalian tekanan air yang dihasilkan saat implementasi tetap mencapai *set point* yang diinginkan. Instalasi pompa seri merupakan instalasi yang menggunakan tegangan yang paling rendah dibandingkan instalasi pompa lainnya. Penyetaraan pada jalur pipa diperlukan untuk masing-masing instalasi pompa. Hal ini dimaksudkan agar dapat mengetahui perbandingan kinerja yang setara pada masing-masing instalasi pompa pada *plant simulator water supply system*.

DAFTAR RUJUKAN

- Elbani, A. (2019). Pemodelan Sistem dengan Metode Identifikasi Parameter Menggunakan Pendekatan Model ARX (Autoregressive Exogenous). *ELKHA Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), 66–71.
- Elkamel, A. (2018). Energy Production Systems. In *Energies*, 11(10), 441–466. <https://doi.org/10.3390/en11102494>
- Flores, T. K. S., Villanueva, J. M. M., Catunda, S. Y. C., & Gomes Heber, P. (2019). Fuzzy Pressure Control System In Water Supply Networks With Series-Parallel Pumps. *I2MTC 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings, 2019-May*, (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2019.8827139>
- Glovatskiy, O., Djavburiyev, T., Urazmukhamedova, Z., Gazaryan, A., & Akhmadov, F. (2019). Interconnection of Influent Channel and Pumping Station Units. *E3S Web of Conferences*, 97, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705011>
- Helmizar, Setiawan, E., & Nuramal, A. (2019). Karakteristik Aliran pada Susunan Pompa yang Berbeda Head Secara Seri dan Paralel. *Jurnal Rekayasa Mekanik*, 3(1), 31–36.
- Lai, Z., Li, Q., Zhao, A., Zhou, W., Xu, H., & Wu, D. (2020). Improving Reliability of Pumps in Parallel Pump Systems Using Particle Swam Optimization Approach. *IEEE Access*, 8, 58427–58434. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980396>

- Mustakim. (2015). Pengaruh Kecepatan Sudut Terhadap Efisiensi. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 4(2), 79–83.
- Nakabayashi, A., Ukai, S., & Wada, H. (2013). Efficient Plant Modeling Methods Using Probabilistic Models. *Yokogawa Technical Report English*, 56(2), 71–74.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (Fifth Edit). Prentice Hall.
- Pranata dkk. (2013). Analisis Karakteristik Pompa Sentrifugal dengan Sistem Seri dan Paralel. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 5(2), 190–199.
- Putra, W. B., Dewi, N. I. K., & Busono, T. (2020). Penyediaan Air Bersih Sistem Kolektif: Analisis Kebutuhan Air Bersih Domestik pada Perumahan Klaster. *Jurnal Arsitektur TERRACOTTA*, 1(2), 115–123. <https://doi.org/10.26760/terracotta.v1i2.4018>
- Samin, R. E., Jie, L. M., & Zawawi, M. A. (2011). PID Implementation of Heating Tank in Mini Automation Plant Using Programmable Logic Controller (PLC). *In ECCE 2011 - International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering*, (pp. 515–519). <https://doi.org/10.1109/INECCE.2011.5953937>
- Sartika, E. M., Muliady, M., Sarjono, R., & Yuvens, V. (2021). Pengontrolan Kecepatan Rotor BLDC UAV Berdasarkan Hasil Identifikasi menggunakan Metode Regresi. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(1), 114. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i1.114>
- Sartika, E. M. (2019). Simulasi Karakteristik Motor BLDC UAV. *Seminar FORTEI 2019 Edisi khusus prosiding FORTEI 2019*, 5(1), 1–4. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/article/view/106120>
- Sartika, E. M., Gany, A., & Yuvens, V. (2020). Implementasi Sensor IMU untuk mengetahui Sudut Elevasi Kendaraan Menggunakan Metode Least Square. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(2), 301. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i2.301>
- Susana, I. G. B., & Sutanto, R. (2016). Peningkatan Kinerja Pompa Hidram Berdasarkan Posisi Tabung Kompresor dengan Saluran Keluar di Bawah Tabung Kompresor. *Dinamika Teknik Mesin*, 6(2), 113–118. <https://doi.org/10.29303/d.v6i2.14>
- Syahrizal, I., & Perdana, D. (2020). Kajian Eksperimen Instalasi Pompa Seri dan Paralel Terhadap Efisiensi Penggunaan Energi. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(2), 194–200. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i2.1056>