

Rancang Bangun Prototipe Sistem Kontrol Tangki Air Otomatis Sederhana untuk Aplikasi Mesin Pencuci Komponen Industri

SASFITRA DECKY AFRISTANTO¹, BAMBANG DEWANDARU²,
FAISAL SAMSURI³, JONI WELMAN SIMATUPANG⁴, RESMANA LIM⁵

^{1,2,3,4}Study Program of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
President University

⁵Study Program of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Petra Christian University

e-mail:joniwsmtmp@president.ac.id

Received 29 November 2022 | Revised 1 Januari 2023 | Accepted 6 Januari 2023

ABSTRAK

Dalam industri manufaktur, salah satu persyaratan yang wajib dipenuhi sebelum barang dikirim ke pelanggan adalah kebersihan barang sebelum dibungkus. Metode yang paling banyak digunakan adalah dengan mencuci barang. Prototipe yang mesin pencuci otomatis yang dibuat pada perancangan menggunakan komponen standar industri seperti PLC, HMI, proximity sensor untuk mengukur level ketinggian air, katup solenoida, dan juga pompa air. Prototipe tersebut kemudian diuji durabilitas dan stabilitasnya. Uji durabilitas dilakukan dengan pengoperasian mesin hingga 1400 cycle tanpa masalah, sementara untuk uji stabilitas dilakukan dengan mengoperasikan mesin hingga 200 cycle tanpa fault yang diakibatkan oleh sensor LOW yang menandakan kehabisan air. Setelah melewati kriteria uji dengan hasil yang sesuai ekspektasi, diharapkan mesin ini mampu menjadi alternatif baru untuk mesin pencuci skala industri dengan beberapa pengembangan tambahan seperti diintegrasikan dengan IoT.

Kata kunci: PLC, HMI, sensor proksimitas, level ketinggian air, durabilitas, stabilitas

ABSTRACT

In the manufacturing industries, one of the mandatory requirements that should be fulfilled is the product's hygiene before packaging. The most commonly used method is to wash the goods. The automatic washer prototype constructed during this observation uses industry-standard components such as PLC, HMI, proximity sensor for measuring the water level, solenoid valve, and water pump. The prototype then is examined for its durability and stability. The durability test is done by a 1400 cycles trial without any problem, while the stability test is done by a 200 cycles trial without a fault triggered by a LOW sensor that indicates the lack of water. After passing the test criteria as expected, the prototype should be able to be a new alternative for industrial-scale washer machines, surely after some improvement such as being integrated with an IoT system.

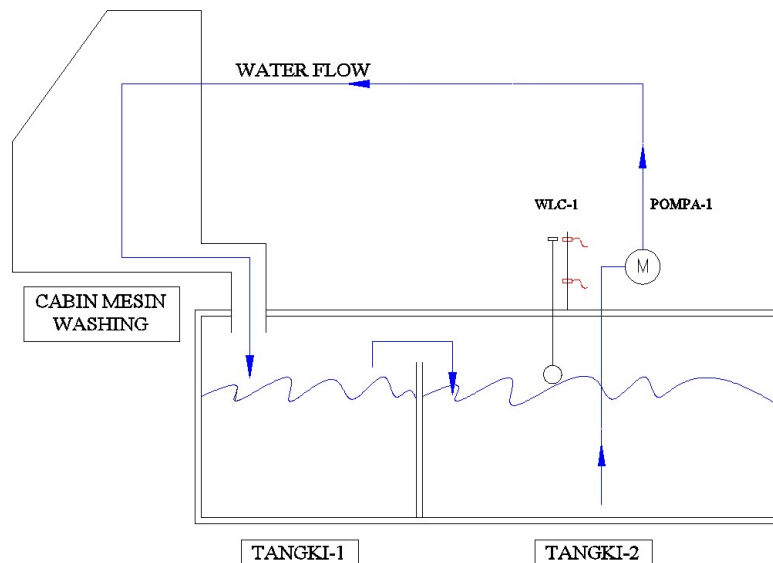
Keyword: PLC, HMI, proximity sensor, water level, durability, stability

1. PENDAHULUAN

Mesin dalam dunia industri memiliki peran yang sangat krusial dalam menentukan kelancaran suatu proses produksi. Salah satu jenis mesin dalam dunia industri khususnya manufaktur adalah mesin pencuci (Ing. *washer*). *Washer* memiliki fungsi untuk mencuci komponen atau benda kerja setelah proses *machining*, ini diperlukan dikarenakan higienitas merupakan salah satu kriteria yang umum pada proses produksi, karenanya proses *washing* yang dilakukan oleh *washer* dibutuhkan agar menghasilkan benda kerja dalam kondisi bersih (Ardi & Nugraha, 2018). Beberapa contoh barang yang memerlukan proses *washing* sebelum *packaging* diantaranya adalah *cylinder head*, *piston*, *rear arm*, *cover crank case* atau bahkan botol kaca yang biasa digunakan sebagai kemasan makanan (UNIKON, 2018).

Pada penggunaan secara umum, terdapat dua jenis *washer*, yaitu *washer* manual dan juga *washer* otomatis. *Washer* manual hanya terbatas pada penggunaan pompa air dan barang dibersihkan secara manual oleh operator, sementara *washer* otomatis menggunakan serangkaian sistem kontrol yang memungkinkan barang dibersihkan secara otomatis dan lebih efisien dari segi waktu dan tenaga (Dongxu, 2021).

Saat ini, terdapat *washer* otomatis dengan sistem dua tangki dan satu water level control yang terdapat pada salah satu tangki. Bagan kinerja *washer* dengan sistem tersebut dijelaskan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Washer dengan sistem dua tangki dan satu water level control

Pada sistem tersebut, tangki air bersih (tangki-2) dilengkapi dengan pompa yang mengalirkan air ke ruang cuci, air bekas penggunaan dari ruang cuci dialirkan ke tangki air kotor (tangki-1) untuk kemudian kotorannya diendapkan. Setelah tangki air kotor penuh, air akan mengalir kembali ke tangki air bersih tanpa bantuan pompa air, atau dengan kata lain mengalir secara alami melalui gaya gravitasi.

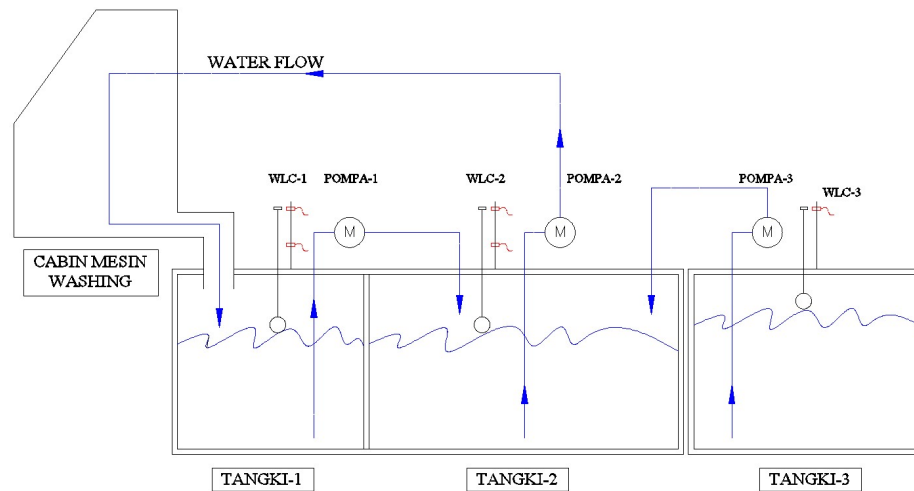
Berdasarkan kinerjanya, sistem tersebut dinilai masih kurang efisien dikarenakan kecepatan aliran air berdasarkan gaya gravitasi sudah pasti tidak mampu mengimbangi kecepatan aliran air yang dibantu oleh pompa. Akibatnya, akan terjadi ketidakseimbangan level air pada tangki air kotor dan tangki air bersih sehingga proses pencucian menjadi terhambat karena proses distribusi air yang tidak seimbang, air pada tangki air bersih akan lebih cepat habis

daripada tangki air kotor, dan tangki air bersih akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk terisi sampai penuh kembali.

Sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut, dirancang suatu sistem prototipe yang merupakan penyempurnaan dari sistem yang sudah ada, yaitu berfokus kepada durabilitas dan stabilitas sistem, yaitu sistem yang memiliki distribusi air yang baik dari tangki ke tangki sehingga kontinuitas sistem tetap terjaga, yang akan berdampak kepada efisiensi sistem yang sebelumnya dinilai semi otomatis, menjadi terotomasi secara penuh.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian kali ini, prototipe sistem kerja kontrol tangki air bersih dan tangki air kotor dirancang dan diimplementasikan untuk *washer* skala industri. Keunggulan dari sistem yang diajukan adalah improvisasi dari kesetimbangan distribusi air untuk tiga tangki secara otomatis serta tangki kosong yang dapat terindikasi melalui alarm, dan juga digunakan tiga tangki yang masing-masing dilengkapi dengan sistem otomasi melalui komponen *proximity sensor*, pompa air, dan katup solenoida sehingga diharapkan akan membuat sistem lebih stabil pada saat pendistribusian air untuk setiap tangki, secara ringkas diilustrasikan pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Prototipe *washer* dengan sistem tiga tangki

Pada Gambar 2 diilustrasikan prototipe sistem *washer* dengan sistem tiga tangki. Setiap tangki dilengkapi dengan pompa, *proximity sensor*, dan juga *solenoid valve*. Tangki air kotor dan tangki air bersih merupakan duplikasi dari sistem sebelumnya, namun pada bagian tangki air kotor dilengkapi dengan serangkaian instrumentasi sebagaimana tangki air bersih sehingga dapat mengimbangi pemakaian air bersih agar distribusi air dapat terjaga secara proporsional yang berdampak pada kestabilan sistem.

Selain penambahan sistem instrumentasi pada tangki air kotor, disediakan tangki ketiga untuk menjaga ketersediaan air, ini untuk mengantisipasi terjadinya kebocoran pada sistem seperti kebocoran pada tangki dan/atau saluran air, air yang tumpah pada saat proses washing, atau kemungkinan lain yang dapat mengurangi ketersediaan air. Tangki ketiga tersebut juga dilengkapi dengan serangkaian instrumentasi seperti *proximity sensor*, pompa, dan juga solenoid valve.

Sistem kontrol yang digunakan pada prototipe adalah *Programmable Logic Controller* (PLC) dan juga *Human Machine Interface* (HMI). PLC digunakan untuk mengatur sistem secara

sekuensial melalui program, ia mendapatkan sinyal yang merepresentasikan input melalui sistem sensor seperti *proximity sensor*, untuk kemudian dilanjutkan ke bagian output melalui relay yang terhubung ke aktuator seperti *solenoid valve*, motor, dan juga pompa. Sementara itu, HMI digunakan untuk interaksi pengguna dengan mesin secara lebih praktis yang disusun dengan *software* tertentu. HMI berisi serangkaian *monitoring* dan kontrol melalui *display* berupa tombol perintah, input parameter, dan juga *display* angka dan status untuk memudahkan operator mengendalikan mesin selama proses berlangsung (Channi, 2019).

Secara umum, komparasi antara sistem yang sudah ada dengan prototipe yang diajukan pada penelitian disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komparasi sistem tersedia dan prototipe

| Parameter | Sistem Tersedia | Prototipe |
|----------------|---|---|
| Sistem Kontrol | PLC Omron | PLC Omron |
| Software | CX-Programmer | CX-Programmer |
| Interface | N/A | HMI (<i>Human Machine Interface</i>) |
| Sensor | Water Level Control (WLC), Proximity Sensor | Water Level Control (WLC), Proximity Sensor |
| Aktuator | Solenoid Valve | Solenoid Valve |
| Model Desain | Double Tank, Semi-Automatic | Triple Tank, Full-Automatic |

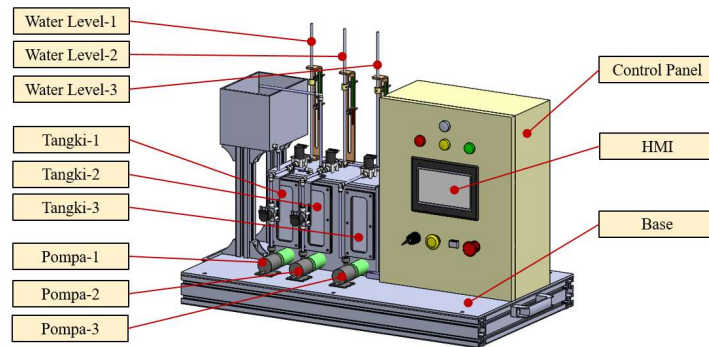
Setelah perancangan, prototipe akan diuji durabilitas dan stabilitasnya. Kedua hal tersebut merupakan persyaratan krusial berkaitan dengan kelayakan suatu mesin atau peralatan setelah pengujian sebelum suatu produk dapat dipasarkan pada skala industri (Akça, dkk, 2010)(Blomshield, dkk, 1997).

Metode yang digunakan untuk menguji durabilitas adalah dengan menjalankan alat pada jumlah siklus tertentu. Siklus yang dimaksud merupakan sekuensial program dari awal instruksi sampai akhir instruksi untuk kemudian kembali ke awal. Berdasarkan spesifikasi yang diperoleh secara konsensus dari pengguna, standar minimal pengujian keandalan dari suatu alat sebelum digunakan untuk proses produksi adalah 200 siklus tanpa jeda, atau mesin dioperasikan sebanyak 200 kali proses tanpa henti. Artinya, setelah perancangan, *washer* akan dijalankan secara kontinyu sebanyak 200 kali putaran dan tidak diperbolehkan terjadi galat / kesalahan pada saat berlangsung. Apabila pada saat uji durabilitas tersebut terjadi kesalahan, maka mesin harus diperbaiki untuk selanjutnya dilakukan pengujian ulang sampai target uji tercapai.

Metode yang digunakan untuk menguji stabilitas adalah memastikan target maksimal kesalahan / *error* sebesar 5% dari total jumlah pengoperasian. Namun demikian, angka tersebut tidak menjadi standar baku dikarenakan setiap pengguna memiliki target tersendiri terhadap mesin yang dirancang, angka tersebut diambil dari rata-rata pengguna secara jamak. Untuk target pengoperasian disamakan dengan uji durabilitas, yaitu mengoperasikan mesin sebanyak 200 kali putaran, namun dengan toleransi yang telah disebutkan sebelumnya.

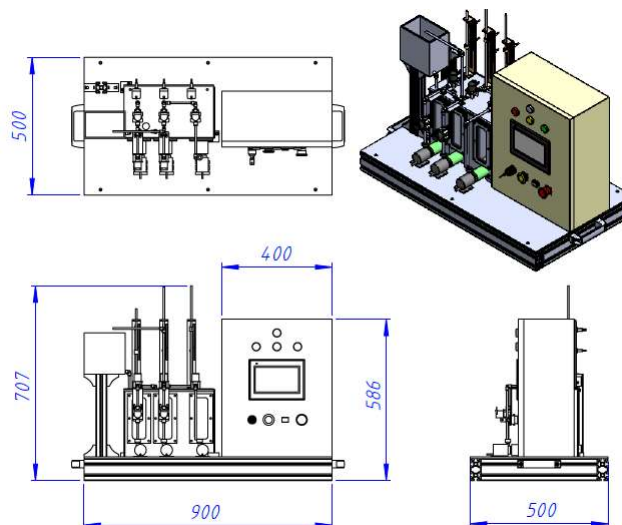
2.1 Spesifikasi Desain Mekanik

Secara umum, desain mekanis dari prototipe diilustrasikan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Desain mekanik prototipe

Komponen-komponen utama dalam prototipe berdasarkan desain pada Gambar 3 adalah *water level control* sebanyak 3 set termasuk dengan *proximity sensor* dan juga pelampung untuk mendeteksi ketinggian air, tangki sebanyak 3 buah untuk separasi air bersih, air kotor, dan air cadangan, kontrol panel yang berisi perangkat elektrik dan elektronik seperti PLC, HMI, dan perangkat pendukungnya seperti *breaker*, *relay*, *contactor*, *push button*, *pilot lamp*, dan lain-lain. Untuk detail pada desain mekanis terkait dimensi diilustrasikan pada Gambar 4 berikut, angka yang tertera adalah dalam satuan milimeter.



Gambar 4. Dimensi desain mekanik

2.2 Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan suatu komputer khusus untuk tujuan penggunaan bersifat industrial yang dibuat lebih *compact* dan diadaptasi untuk sistem kendali dan proses manufaktur seperti perakitan, mesin-mesin industri, peralatan robotik, atau segala aktivitas yang memerlukan reliabilitas yang tinggi, secara relatif mudah diprogram, dan juga diagnosa kesalahan pada saat operasional (Walker, dkk, 2010).

Jenis-jenis PLC cukup beragam, mulai dari modular kecil yang memiliki hanya puluhan input dan output, sampai modular jenis *rack-mounted* yang dapat dilebarkan sampai memiliki ribuan input dan output, ada juga PLC yang terhubung dengan PLC melalui jaringan ataupun komunikasi serial dan ada juga yang terhubung ke sistem SCADA. Gambar 5 merupakan PLC yang digunakan untuk prototipe, yaitu PLC Omron CP1L-M40DR-A yang dilengkapi dengan 24 input dan 16 output dengan tegangan 24VDC dan beroperasi pada tegangan 220VDC (Tubbs, 2018).



Gambar 5. PLC Omron CP1L-M40DR-A

Bahasa yang umum digunakan untuk memprogram PLC adalah IEC61131-3 atau yang lebih dikenal dengan sebutan *ladder logic*. Sesuai dengan namanya, *ladder logic* merupakan bahasa pemrograman yang bersifat grafis yang terdiri dari susunan 'anak tangga'. Setiap anak tangga (Ing. *rung*) mewakili satu perintah tertentu yang terdiri dari *contact* sebagai input dan *coil* sebagai output. Selain *contact* dan *coil*, terdapat juga fungsi-fungsi lain seperti *timer*, *counter*, *sequencer*, *file transfer*, dan juga *math operator* untuk fungsi yang lebih canggih dan kompleks (IEC, 2003).

Bahasa pemrograman IEC61131-3 atau *ladder logic* untuk PLC Omron CP1L-M40DR-A diprogram menggunakan *software* CX-Programmer v9.1, *software* tersebut merupakan *software* standar yang digunakan untuk memprogram PLC Omron (OMRON, 2022). CX-Programmer v9.1 juga dilengkapi dengan simulator yang memungkinkan untuk menguji program terlebih dahulu sebelum program di-*download* ke dalam PLC. Kemampuan simulasi ini sangat menguntungkan berkaitan dengan *fail-safe* sehingga karakteristik program dapat dievaluasi terlebih dahulu sebelum diaplikasikan secara nyata oleh PLC, dengan tujuan untuk menguji efektifitas program dan mengurangi kerusakan yang timbul akibat kesalahan pada program.

2.3 Human-Machine Interface (HMI)

Human-Machine Interface (HMI) merupakan antarmuka pengguna atau *dashboard* yang menghubungkan pengguna / operator kepada suatu mesin, sistem, atau suatu perangkat. Secara teknis, terminologi HMI dapat disematkan kepada layar yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan suatu piranti, namun demikian HMI lebih umum digunakan dalam konteks pada proses industri (Haryanto & Hidayat, 2012).

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, HMI terdiri dari serangkaian sistem *monitoring* dan kontrol secara digital untuk memantau mesin saat menjalankan suatu aktivitas atau proses. Biasanya, pada HMI terdapat angka yang menunjukkan proses yang sedang dikerjakan dan juga total antrian proses, tombol-tombol digital dan input parameter untuk memasukkan angka spesifik dan perintah tertentu, juga *error handling* yang menunjukkan *alarm / message* apabila terdapat kesalahan pada saat mesin dijalankan (Galina, dkk, 2020).



Gambar 6. HMI Omron NB7W-TW01B

HMI yang ditampilkan pada layar disusun dengan menggunakan *software* CX-Designer v3.0, *software* tersebut juga merupakan *software* standar yang dikeluarkan oleh Omron sebagaimana CX-Programmer v9.1 untuk memprogram PLC. CX-Designer juga dilengkapi dengan simulator untuk mencoba sistem terlebih dahulu sebelum diaplikasikan pada HMI.

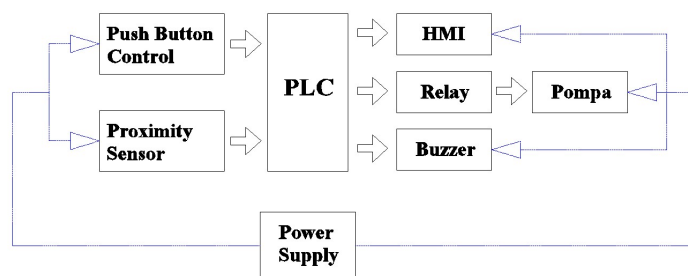
2.4 Perangkat Tambahan

Selain perangkat-perangkat yang dijelaskan secara khusus pada subbab sebelumnya, terdapat perangkat-perangkat tambahan seperti tangki air, *proximity sensor* yang terintegrasi pada *water level control* (WLC), *solenoid valve*, pompa air, pelampung, pipa, *buzzer*, *relay*, *pilot lamp*, dan juga *push button*. Semua instrumen bagian input dan output PLC bekerja pada tegangan 24VDC yang mana perangkat-perangkat tersebut dibutuhkan untuk melengkapi fungsi-fungsi yang mendukung keandalan prototipe pada saat pengoperasian dan berlangsungnya proses (Rozaq & Rohman, 2019)(Aviv, dkk, 2016).

Setelah semua perangkat terintegrasi melalui *wiring* dan *program*, sistem akan diuji melalui pengujian manual untuk memastikan masing-masing instrumen bekerja dengan baik, dan pengujian otomatis untuk memastikan sistem secara keseluruhan bekerja dengan baik.

2.5 Mekanisme Kerja

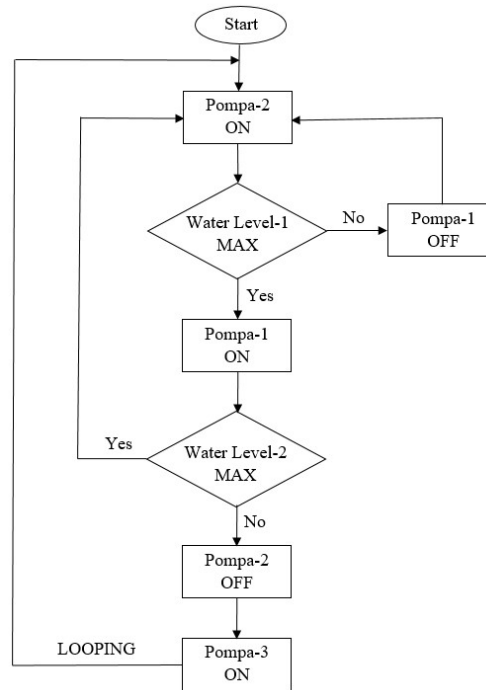
Mekanisme kerja prototipe dijelaskan melalui diagram blok dan *flowchart* pada Gambar 7 dan Gambar 8 berturut-turut sebagai berikut.



Gambar 7. Diagram blok prototipe

Berdasarkan diagram pada Gambar 7 tersebut, PLC memegang peran penting sebagai pusat kendali. Input pada sistem diberikan oleh *push button* yang terdapat pada panel kontrol dan

proximity sensor sebagai indikator ketinggian air pada tangki-1, tangki-2, dan tangki-3. Output yang digunakan pada sistem diantaranya adalah *relay* sebagai *trigger* untuk *solenoid valve* dan pompa pada saat bekerja, dan *buzzer* untuk alarm pada saat sistem mengalami malfungsi seperti kehabisan air. Keseluruhan dari proses akan ditampilkan dalam HMI, disana kinerja dari masing-masing instrumen dapat dipantau.



Gambar 8. Flowchart kinerja prototipe

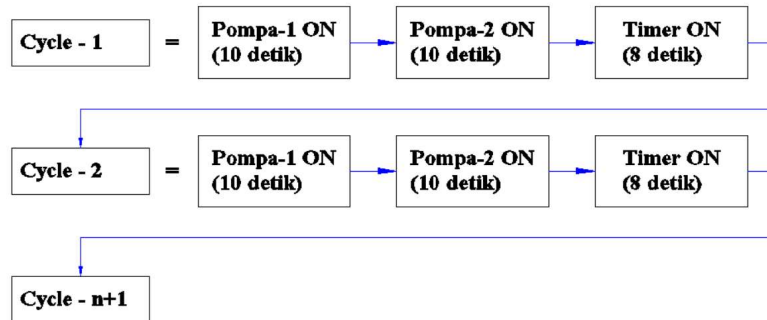
Pada *flowchart* dalam Gambar 8 dijelaskan mengenai urutan kerja dari prototipe yang dibuat. Siklus diawali dengan aktivasi pompa ke-2, kinerja pompa ke-2 ini dibatasi oleh WLC ke-1. Pada saat pompa-2 bekerja dan mencapai level maksimal dari WLC ke-1 maka sistem akan tetap menyalakan pompa ke-1. Sebaliknya jika WLC ke-1 dalam posisi minimal, pompa ke-1 akan berhenti sembari menunggu pompa-2 terus bekerja. Ketika WLC ke-2 dalam posisi maksimal, pompa-2 akan terus bekerja. Pompa ke-2 hanya akan berhenti ketika WLC ke-2 pada posisi minimal. Pada saat WLC ke-2 dalam kondisi minimal, pompa ke-3 akan mulai bekerja mengisi air pada tangki ke-2.

2.6 Pengujian Fungsi Mode Manual dan Otomatis

Komponen satu persatu diuji melalui input dari HMI sebanyak 10 kali pengujian pada mode manual. Pengujian ini dilakukan untuk mengantisipasi kerusakan pada masing-masing perangkat sebelum diuji dengan mode otomatis dengan program PLC, sehingga apabila terdapat *error* pada setiap perangkat yang diuji, dapat dilakukan perbaikan atau penggantian sehingga sistem dapat berjalan normal. Pengujian komponen secara manual hanya pada bagian pompa yang memiliki fungsi yang paling krusial diantara semua instrumen, dan juga *buzzer* sebagai indikator apabila terjadi *error* pada pompa. Namun demikian, *solenoid valve* dan juga *proximity sensor* juga tetap diamati dan dievaluasi apabila terdapat kesalahan pada saat pengoperasian.

Setelah melalui pengujian pada mode manual dan semua komponen tidak memiliki kendala, maka pengujian berlanjut pada mode otomatis. Mode ini mengimplementasikan program PLC yang sudah terintegrasi dengan semua perangkat, baik input maupun output dan juga HMI

sebagai media kontrol dan *monitoring* antara operator dengan mesin. Pengujian melalui mode otomatis dijelaskan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Siklus dalam program prototipe

Berdasarkan Gambar 9, pada pengujian mode otomatis ini dilakukan beberapa siklus kerja untuk prototipe. Satu siklus kerja prototipe adalah ketika sistem dinyalakan (ON), maka pompa ke-1 akan dihidupkan selama T1 detik ditambah dengan pompa ke-2 selama T1 detik ditambah *delay timer* selama T2 detik. Kecepatan siklus yang dihasilkan oleh prototipe bergantung pada berapa lama waktu yang di-*set* dalam program saat menentukan nilai T1 dan T2.

Pada prototipe dibuat program dalam satu siklus adalah 28 detik. Nilai 28 detik tersebut adalah waktu rata-rata yang digunakan umumnya digunakan untuk melakukan proses pencucian barang pada *washer*. Sehingga prototipe disimulasikan menyerupai kondisi aktual yang sudah ada. Rinciannya adalah pompa ke-1 bekerja selama 10 detik, pompa ke-2 bekerja selama 10 detik, dan *delay timer* sebelum perpindahan dari siklus satu ke siklus dua adalah 8 detik untuk menyesuaikan dengan barang yang masuk dan dicuci di dalam *washer*.

2.7 Pengujian Keandalan dan Kestabilan

Pada prototipe ini dilakukan pengujian sebanyak 1400 *cycle test* untuk memperkuat hasil pengujian. 1400 *cycle test* tersebut terbagi ke dalam beberapa segmen, yaitu 800 *cycle test* untuk mensimulasikan *long durability* sebagai tahap pertama, 600 *cycle test* yang terbagi ke dalam tiga tahap, yaitu tahap kedua, ketiga, dan keempat. 1400 *cycle test* itu juga dikatakan berhasil apabila tidak terdapat *fault* pada setiap siklus. Kriteria yang diuji pada keandalan sistem diantaranya adalah pompa yang berfungsi dengan baik, suhu stabil tidak melampaui 50°C, *counter* pada HMI yang menghitung secara benar, dan *buzzer* yang berbunyi apabila terdapat *fault*.

Sementara itu untuk pengujian kestabilan, prototipe dinyatakan stabil jika nilai *fault / error* yang muncul pada saat berada dalam mode otomatis tidak lebih dari 5% dari total *cycle*, atau untuk setiap pengujian 200 *cycle test*, tidak boleh terjadi *error* lebih dari 10 kali. Kriteria *fault* yang diuji adalah kondisi seimbang dari masing-masing tangki, terutama tangki ke-1 dan tangki ke-2, dengan indikator *error* adalah LOW level pada masing-masing tangki. Ketika tangki berada pada LOW level, maka dicatat sebagai *error* sebesar satu kali. Total pengujian adalah 600 *cycle test* yang dibagi pada tiga tahap, dengan 200 *cycle test* per segmen pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Fungsional Mode Manual dan Otomatis

Hasil pengujian mode manual disajikan pada Tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan setiap perangkat terhubung secara benar pada perspektif *wiring* ke input dan output PLC, sehingga sistem siap untuk diuji secara otomatis.

Tabel 2. Hasil pengujian komponen pada mode manual

| Pengujian ke- | Komponen bekerja normal (Ya/Tidak) | | | |
|---------------|------------------------------------|---------|---------|--------|
| | Pompa-1 | Pompa-2 | Pompa-3 | Buzzer |
| 1 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 2 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 3 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 4 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 5 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 6 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 7 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 8 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 9 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 10 | Ya | Ya | Ya | Ya |

Sementara itu, hasil dari pengujian mode otomatis ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian komponen pada mode otomatis

| Pengujian ke- | Komponen bekerja normal (Ya/Tidak) | | | |
|---------------|------------------------------------|---------|-------|--------|
| | Pompa-1 | Pompa-2 | Timer | Buzzer |
| 1 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 2 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 3 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 4 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 5 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 6 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 7 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 8 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 9 | Ya | Ya | Ya | Ya |
| 10 | Ya | Ya | Ya | Ya |

Berdasarkan hasil pengujian mode otomatis, sistem berfungsi tanpa kendala dan berhasil mencapai 10 siklus tanpa *error*. Parameter uji yang digunakan sedikit berbeda pada mode manual, yaitu pompa ke-3 untuk tangki cadangan air tidak dimasukkan. Ini dikarenakan pada pengoperasian, pompa ke-3 hanya digunakan untuk keadaan darurat yaitu ketika air di tangki ke-2 habis, dan tidak akan bekerja dalam frekuensi yang intens sebagaimana pompa ke-1 dan pompa ke-2. *Timer* merupakan bagian krusial dari mode otomatis, karena input dari *timer* menggantikan input manual dan menentukan ritme sekuensial yang dikerjakan oleh program, sehingga fungsi *timer* menjadi salah satu parameter yang penting untuk diuji (Yuhendri, 2018). Hasil tersebut juga diperoleh dikarenakan program PLC yang memenuhi algoritma yang direncanakan bersesuaian dengan instrumen yang dirakit pada sistem, sehingga kinerja sistem menjadi optimal dan terintegrasi satu sama lain.

3.2 Hasil Pengujian Keandalan

Secara umum, pengujian keandalan menunjukkan hasil yang sangat baik. Untuk *long durability test* yang dilakukan sebanyak 800 *cycle test* tanpa henti, total waktu yang ditempuh adalah selama 6 jam 22 menit 23 detik. Selama waktu tersebut, tidak terdapat satupun *error* yang muncul pada prototipe.

Long durability test yang dilakukan juga mampu memenuhi kriteria yang ditetapkan pada pengujian, yaitu pompa yang bekerja terus menerus dan tidak mengalami beban berlebih, mesin beroperasi pada suhu stabil, dan juga *counter* yang menghitung secara benar. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data hasil pengujian *long durability*

| Data Pengujian | | | | | 1 Jan 2022 Long Durability Test | | | | |
|----------------|-------|-------|--------|-----------|---------------------------------|----------|---------|-------------|---------|
| Jam | Menit | Detik | Fungsi | Action | Counter | Time | CT | Activity | |
| | | | | | | | | Preparation | Auto |
| 15 | 13 | 2 | Auto | Cycle End | 785 | 15:13:02 | 0:01:11 | | |
| 15 | 14 | 13 | Auto | Cycle End | 786 | 15:14:13 | 0:00:26 | | 0:00:26 |
| 15 | 14 | 39 | Auto | Cycle End | 787 | 15:14:39 | 0:00:27 | | 0:00:27 |
| 15 | 15 | 6 | Auto | Cycle End | 788 | 15:15:06 | 0:00:26 | | 0:00:26 |
| 15 | 15 | 32 | Auto | Cycle End | 789 | 15:15:32 | 0:00:27 | | 0:00:27 |
| 15 | 15 | 59 | Auto | Cycle End | 790 | 15:15:59 | 0:00:33 | | 0:00:33 |
| 15 | 16 | 32 | Auto | Cycle End | 791 | 15:16:32 | 0:00:28 | | 0:00:28 |
| 15 | 17 | 0 | Auto | Cycle End | 792 | 15:17:00 | 0:00:36 | | 0:00:36 |
| 15 | 17 | 36 | Auto | Cycle End | 793 | 15:17:36 | 0:00:39 | | 0:00:39 |
| 15 | 18 | 15 | Auto | Cycle End | 794 | 15:18:15 | 0:00:27 | | 0:00:27 |
| 15 | 18 | 42 | Auto | Cycle End | 795 | 15:18:42 | 0:01:14 | | |
| 15 | 19 | 56 | Auto | Cycle End | 796 | 15:19:56 | 0:00:26 | | 0:00:26 |
| 15 | 20 | 22 | Auto | Cycle End | 797 | 15:20:22 | 0:00:27 | | 0:00:27 |
| 15 | 20 | 49 | Auto | Cycle End | 798 | 15:20:49 | 0:00:31 | | 0:00:31 |
| 15 | 21 | 20 | Auto | Cycle End | 799 | 15:21:20 | 0:00:42 | | 0:00:42 |
| 15 | 22 | 2 | Auto | Cycle End | 800 | 15:22:02 | 0:00:26 | | 0:00:26 |
| 16 | 7 | 16 | Manual | | | 16:07:16 | 0:00:17 | 0:00:17 | |
| 16 | 7 | 33 | Manual | | | 16:07:33 | | | |
| Total Time | | | | | | | | | 6:22:23 |

Apabila diperhatikan, terdapat perbedaan waktu yang cukup signifikan pada waktu-waktu tertentu, diantaranya adalah pengujian ke 785 dan juga pengujian ke 795, atau setiap 10 kali pengujian, ini dikarenakan pada saat *long durability test*, tetap terjadi ketidakseimbangan distribusi air sehingga dibutuhkan waktu ekstra untuk mengisi tangki ke posisi semula, mengingat ketika dilakukan tes secara marathon, sudah pasti terjadi kebocoran sistem pada saat perpindahan air, seperti misalnya tumpah pada saat berpindah, atau air yang menempel di benda kerja menyebabkan volume air berkurang terus menerus. Karenanya, pompa ke-3 berperan sebagai pengangkut cadangan air dari tangki ke-3 dan berhasil menekan jeda waktu secara signifikan dibandingkan dengan sistem yang memanfaatkan gaya natural untuk perpindahan air, yaitu hanya selama 46 detik *delay* yang dibutuhkan untuk mengembalikan volume air ke posisi semula.

Setelah melalui *long durability test*, tes yang selanjutnya adalah tes keandalan sesuai standar, yaitu pengujian dengan 200 *cycle test* tanpa jeda. Namun demikian untuk menguatkan hasil pengujian, dilakukan 600 *cycle test* yang terbagi pada tiga tahap, yaitu tahap kedua, tahap ketiga, dan tahap keempat dihitung dari *long durability test* sebagai tahap pertama.

Tahap kedua membutuhkan waktu selama 1 jam 40 menit 22 detik, tahap ketiga selama 1 jam 36 menit 8 detik, dan tahap keempat selama 1 jam 43 menit 22 detik. Sehingga, total pengujian ketahanan memerlukan waktu total sebanyak 4 jam 59 menit 52 detik, atau sekitar 5 jam apabila dilakukan pembulatan, akan tetapi karena dilakukan bertahap, kinerja mesin dijeda pada setiap 200 *cycle test* sekitar 15 sampai 30 menit.

Contoh hasil pengujian untuk setiap 200 *cycle test* disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Contoh data hasil pengujian keandalan pada tahap ke-2

| Data Pengujian | | | | | Durability Test Data (09-Jan) | | | |
|----------------|-----------|---------|----------|---------|-------------------------------|---------|---------|-----------|
| Fungsi | Action | Counter | Time | CT | Activity | | | |
| | | | | | Manual | Auto | Fault | Emergency |
| Auto | Cycle End | 185 | 12:04:45 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 186 | 12:05:12 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 187 | 12:05:38 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 188 | 12:06:05 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 189 | 12:06:31 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 190 | 12:06:58 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 191 | 12:07:24 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 192 | 12:07:51 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 193 | 12:08:17 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 194 | 12:08:44 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 195 | 12:09:10 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 196 | 12:09:37 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 197 | 12:10:30 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 198 | 12:10:30 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Cycle End | 199 | 12:10:56 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| Auto | Cycle End | 200 | 12:11:23 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| Auto | Interrupt | | 12:18:33 | 0:01:29 | | | | 0:01:29 |
| | | | 12:20:20 | | | | | |
| Summary | | | | | | 1:36:08 | 0:00:00 | 0:04:41 |

Berdasarkan tabel di atas, rata-rata waktu yang dibutuhkan berkisar antara 26 s/d 27 detik untuk setiap siklus yang dikerjakan, dan tidak terdapat *delay* sebagaimana pada saat pengujian *long durability*. Apabila siklus telah mencapai yang ke-200, siklus selanjutnya dihentikan dengan menekan tombol *emergency*. Tidak terdapat *fault* pada saat pengujian, maka jumlah waktu untuk *fault* adalah sebesar 0 jam 0 menit 0 detik.

3.3 Pengujian Kestabilan

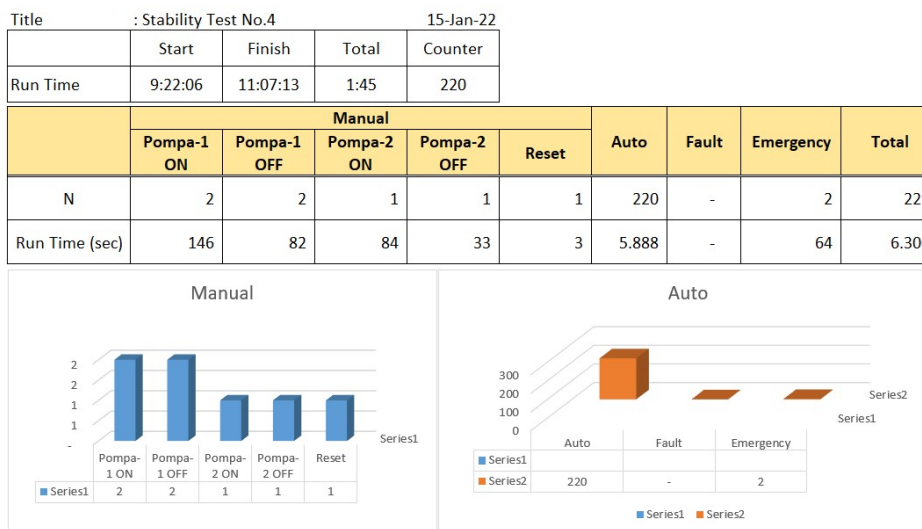
Berdasarkan hasil dari pengujian kestabilan melalui 200 *cycle test* sebanyak 3 tahap. Dari ketiga tahap tersebut, tidak terdapat *fault* yang diakibatkan oleh distribusi air yang tidak merata, sehingga mesin dapat bekerja tanpa gangguan yang disebabkan oleh kurangnya air pada tangki air bersih. Ini dikarenakan tangki air bersih selalu terjaga ketersediaannya disebabkan oleh pompa ke-1 yang mampu mengimbangi kinerja pompa ke-2, sehingga sirkulasi air tetap terjaga dengan baik, bahkan ketersediaan air di pompa ke-2 juga ditopang oleh air cadangan yang tersedia di tangki ke-3 apabila sewaktu-waktu air benar-benar habis dipakai dari pompa ke-1 dan pompa ke-2.

Contoh hasil pengujian kestabilan disajikan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Contoh data hasil pengujian keandalan pada tahap ke-2

| Stability Test Data (09-Jan) | | | | | | |
|------------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|-----------|
| Counter | Time | CT | Activity | | | |
| | | | Manual | Auto | Fault | Emergency |
| 185 | 12:04:45 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 186 | 12:05:12 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 187 | 12:05:38 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 188 | 12:06:05 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 189 | 12:06:31 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 190 | 12:06:58 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 191 | 12:07:24 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 192 | 12:07:51 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 193 | 12:08:17 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 194 | 12:08:44 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 195 | 12:09:10 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 196 | 12:09:37 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 197 | 12:10:30 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 198 | 12:10:30 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| 199 | 12:10:56 | 0:00:27 | | 0:00:27 | | |
| 200 | 12:11:23 | 0:00:26 | | 0:00:26 | | |
| | 12:18:33 | 0:01:29 | | | | 0:01:29 |
| | 12:20:20 | | | | | |
| Summary | | | | 1:36:08 | 0:00:00 | 0:04:41 |
| Running Time (hours) | | | | 1:40:49 | | |
| Running Time (minutes) | | | | 427 | | |
| Counter | | | | 200 | | |
| Fault | | | | 0 | | |

Data pada tabel tersebut diambil dari tabel pengujian keandalan, karena pengujian keandalan dan kestabilan dapat dilakukan secara simultan, namun dengan kriteria yang berbeda sebagaimana disebutkan sebelumnya. Akan tetapi dilakukan juga pengujian kestabilan secara khusus untuk memperkuat hasil pengujian dengan melakukan pengujian lanjutan di tahap ke-4 s/d ke-6. Salah satu contohnya dari hasil pengujiannya disajikan pada grafik yang diilustrasikan pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Contoh data hasil pengujian kestabilan tahap ke-4

Berdasarkan data-data tersebut, sistem beroperasi dengan cukup stabil dikarenakan tidak terjadi *fault* yang diakibatkan oleh sensor LOW karena ketersediaan air yang menipis. Sehingga dapat disebutkan bahwa kinerja pompa tambahan cukup efektif untuk menjaga ketersediaan air tetap seimbang antara tangki air bersih dengan tangki air kotor.

3.4 Analisis Lanjutan

Berdasarkan serangkaian pengujian yang diterapkan pada prototipe, terdapat beberapa kendala baru yang dihasilkan, diantaranya adalah air yang ditarik dari tangki air kotor ke tangki air bersih dengan bantuan peralatan mekanis memiliki perbandingan tersendiri dengan perpindahan air secara alami melalui gaya gravitasi, diantaranya adalah kotoran di pompa air kotor yang belum sempat mengendap karena ketika air kotor ditampung di tangki, pompa akan segera memindahkan air tersebut ke tangki air bersih sebelum kotorannya benar-benar mengendap. Keadaan tersebut akan menyebabkan kualitas pembersihan barang menurun dikarenakan air bersih yang terkontaminasi oleh air kotor yang dipindahkan secara cepat. Karenanya untuk meminimalisir kontaminasi, dapat dipasang *filter* di bagian *inlet* pompa ke-1 sehingga kualitas air bersih tidak menurun secara drastis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, prototipe *washer* yang dirancang pada penelitian mampu memperbaiki keandalan dan kestabilan dari sistem yang sudah ada, ini dibuktikan dengan distribusi air dari tangki ke tangki yang merata setelah penambahan fitur seperti tangki tambahan untuk cadangan air, dan juga pompa air pada bagian tangki air kotor untuk dikembalikan ke tangki air bersih. Prototipe yang dirancang mampu memenuhi kriteria lulus uji setelah melewati serangkaian pengujian durabilitas dan stabilitas, diantaranya adalah mesin mampu menyelesaikan 1400 *cycle test* tanpa kendala terkait dengan ketahanan seperti pompa yang panas dan pelemahan fungsi pompa sehingga tidak mampu lagi untuk memindahkan air, selain itu mesin juga cukup stabil karena mampu melewati 1200 *cycle test* yang disegmentasi menjadi 6 tahap, yang mana ke-6 tahap tersebut tetap dapat diselesaikan dengan tanpa kendala / *fault* yang menjadi kriteria kestabilan, yaitu sensor LOW yang menyebabkan pompa berhenti bekerja karena kehabisan air. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa mesin cukup andal dan stabil untuk dioperasikan pada skala industri. Namun demikian, dapat dilakukan beberapa pengembangan dan penambahan fitur lanjutan pada prototipe untuk memaksimalkan kinerja, salah satunya adalah diintegrasikan dengan sistem IoT untuk penggunaan skala besar dibantu dengan sistem *monitoring* yang canggih seperti SCADA.

DAFTAR RUJUKAN

- Ardi, S. & Nugraha, Z.A. (2018). Design Control System of Washing Oil Pan Machine Based on PLC in the Automotive Manufacturing Industry. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs)*.
- UNIKON (2018). UNIKON Reseller Training. *UNIKON® Industrial Washers & Dryers*, 5–6.
- Dongxu, J. (2021). Control Design of Automatic Intelligent Car Washing Machine Based on PLC. *2021 10th International Conference on Applied Science, Engineering and Technology (ICASET 2021)*, (pp. 36-37).

- Channi, H. K. (2019). Human Machine Interface. *LAP Germany*. ISBN: 978-620-0-47941-9
- Akça, S., Demir, S. Pennington, I., & Ataman, O. (2010). Engine Durability Test Cycle for Heavy-Duty Engines. *ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*. doi:10.1115/ESDA2010-25174
- Blomshield, F., Beckstead, M., Crump, J. E., & Mathes, H. B. (1997). Stability Testing of Full-Scale Tactical Motors. *Journal of Propulsion and Power*, 13(3), 350–351. doi:10.2514/2.5191
- Walker, M., Bissell, C., & Monk, J. (2010). The PLC: A Logical Development. *Measurement and Control –London– Institute of Measurement and Control*, 43(9), 2–3. doi:10.1177/002029401004300904
- Tubbs, S. P. (2018). Programmable Logic Controller (PLC) Tutorial, Siemens Simatic S7-1200. *Publicis MCD Werbeagentur GmbH*.
- IEC (2003). International Standard IEC 61131-3. *International Electrotechnical Commission*, 1(2), 9–10.
- OMRON (2019). SYSMAC CX-Programmer ver. 9._ Operation Manual. *OMRON Corporation*.
- Haryanto, H., & Hidayat, S. (2016). Perancangan HMI (Human-Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC. *Setrum (Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer)*, 1(2), 59–60. doi:10.36055/setrum.v1i2.476
- Galina, M., Ramadhani, M. W., & Simatupang, J. W. (2019). Prototype of Postpaid Electricity and Water Usage Monitoring System. *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, (pp. 304–305). doi:10.1109/ICSECC.2019.8907095
- Rozaq, A., & Rohman, M. N. (2019). Analisa Penggunaan Sensor Proximity LJC 18 A3-B-Z/Bx Sebagai Salah Satu Sensor Prototype Cuci Mobil Otomatis. *Indonesian Journal of Technology, Informatics and Science Universitas Muria Kudus*, 1(1), 14–15.
- Aviv, S., Wirdayanti, A., Budianingsih, E., Firmani, A. K., & Suhardi, B. (2016). Water Level Control System Otomatis Sederhana Pada Tandon Air di Kawasan Perumahan. *Performa Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta*, 15(2), 130–136.
- Yuhendri, D. (2018). Penggunaan PLC Sebagai Pengontrol Peralatan Building Otomatis. *Jurnal Online Universitas Islam Sumatera Utara*, 3(3), 124–125. ISSN: 2598 – 1099