



# TEKNOLOGI dan rekayasa

<p>APLIKASI PENGUKURAN TINGKAT KEMIRIPAN OBJEK MENGGUNAKAN MODIFIED HAUSDORFF DISTANCE BERDASARKAN HASIL DETEKSI TEPI <b>Silviana Reskia, Dini Sundani</b></p>	78
<p>IMPLEMENTASI DEEP LEARNING MENGGUNAKAN FRAMEWORK TENSORFLOW DENGAN METODE FASTER REGIONAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK UNTUK PENDETEKSIAN JERAWAT <b>Yunita Aulia Hasma, Widya Silfianti</b></p>	89
<p>PROTOTIPE ALAT PEMINDAH BARANG DI PELABUHAN BERBASIS ARDUINO <b>Andrea Darmawan, Nur Sultan Salahuddin, Mochamad Karjadi</b></p>	103
<p>ANALISIS NILAI OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA MESIN EXUDER DI PT PRALON <b>Pahmi Hamda</b></p>	112
<p>PROTOTIPE SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR BERBASIS PLC OMRON DAN ARDUINO UNO SEBAGAI SMS GATEWAY <b>Arif Hernowo, Setiyono, Sandy Suryo Prayogo</b></p>	122
<p>PERENCANAAN JUMLAH PRODUKSI BUBUK CABAI DENGAN METODE FUZZY MAMDANI BERDASARKAN PERKIRAAN PERMINTAAN PADA PT GANESHA ABADITAMA <b>Intan Puspita Sari</b></p>	133
<p>PENGARUH KOMPOSISI CU TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO DARI PENGECORAN AL-SI <b>Willy Anderson, Haris Rudianto, Deni Haryadi</b></p>	146

## **DEWAN REDAKSI JURNAL TEKNIK REKAYASA**

### **Penanggung Jawab**

Prof. Dr. E.S. Margianti, S.E., M.M.  
Prof. Suryadi Harmanto, SSI., M.M.S.I.  
Drs. Agus Sumin, M.M.S.I.

### **Dewan Editor**

Dr. Desti Riminarsih, S.Si, M.Si, Universitas Gunadarma  
Dr. Dina Indarti, S.Si, M.Si, Universitas Gunadarma  
Dr. Ir. Asep Mohamad Noor, M.T., Universitas Gunadarma  
Ajib Setyo Arifin, S.T., M.T., Ph.D., Universitas Indonesia  
Dr. Sunny Arief Sudiro, STMIK Jakarta STI&K

### **Mitra Bebestari**

Prof. Dr. Sarifuddin Madenda, Universitas Gunadarma  
Prof. Dr.-Ing. Adang Suhendra, S.Si, Skom, Msc, Universitas Gunadarma  
Prof. Ir. Busono Soerowirdjo, Msc, Phd, Universitas Gunadarma  
Prof. Dr. Rer.Nat. A. Benny Mutiara, Universitas Gunadarma  
Prof. Dr. Ir. Bambang Suryawan, MT, Universitas Gunadarma  
Prof. Dr. B.E.F. da Silva, Universitas Indonesia  
Prihandoko, S.Kom, MIT, Phd, Universitas Gunadarma  
Dr. Tubagus Maulana Kusuma, Skom., Mengsc., Universitas Gunadarma  
Dr. Ir. Rakhma Oktavina, MT., Universitas Gunadarma  
Dr. RR Sri Poernomo Sari, M.T., Universitas Gunadarma  
Dr. Lussiana ETP, Ssi., M.T., STMIK Jakarta STI&K

### **Sekretariat Redaksi**

Universitas Gunadarma  
Jalan Margonda Raya No. 100 Depok 16424  
Phone : (021) 78881112 ext 516.

# JURNAL ILMIAH TEKNOLOGI DAN REKAYASA

NOMOR 2, VOLUME 23, AGUSTUS 2018

## DAFTAR ISI

APLIKASI PENGUKURAN TINGKAT KEMIRIPAN OBJEK MENGGUNAKAN <i>MODIFIED HAUSDORFF DISTANCE</i> BERDASARKAN HASIL DETEKSI TEPI <b>Silvina Reskia, Dini Sundani</b>	78
IMPLEMENTASI <i>DEEP LEARNING</i> MENGGUNAKAN <i>FRAMEWORK TENSORFLOW</i> DENGAN METODE <i>FASTER REGIONAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK</i> UNTUK PENDETEKSIAN JERAWAT <b>Yunita Aulia Hasma, Widya Silfianti</b>	89
PROTOTIPE ALAT PEMINDAH BARANG DI PELABUHAN BERBASIS ARDUINO <b>Andrea Darmawan, Nur Sultan Salahuddin, Mochamad Karjadi</b>	103
ANALISIS NILAI <i>OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS</i> (OEE) UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA MESIN EXUDER DI PT PRALON <b>Pahmi Hamda</b>	112
PROTOTIPE SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR BERBASIS <i>PLC OMRON</i> DAN ARDUINO UNO SEBAGAI <i>SMS GATEWAY</i> <b>Arif Hernowo, Setiyono, Sandy Suryo Prayogo</b>	122
PERENCANAAN JUMLAH PRODUKSI BUBUK CABAI DENGAN METODE FUZZY MAMDANI BERDASARKAN PERKIRAAAN PERMINTAAN PADA PT GANESHA ABADITAMA <b>Intan Puspita Sari</b>	133
PENGARUH KOMPOSISI CU TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STUKTUR MIKRO DARI PENGEORAN AL-SI <b>Willy Anderson, Haris Rudianto, Deni Haryadi</b>	146

# **APLIKASI PENGUKURAN TINGKAT KEMIRIPAN OBJEK MENGUNAKAN *MODIFIED HAUSDORFF DISTANCE* BERDASARKAN HASIL DETEKSI TEPI**

**<sup>1</sup>Silvina Reskia, <sup>2</sup>Dini Sundani**

*<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat*

*<sup>1</sup>silvinareskia18i@gmail.com, <sup>2</sup>dinisundani@staff.gunadarma.ac.id*

## **Abstrak**

*Pengolahan citra mengalami perkembangan yang begitu pesat yang ditandai dengan banyaknya citra yang disajikan dalam berbagai bidang seperti bidang kedokteran, industri pertanian, geologi, dan kelautan. Banyaknya citra yang tersaji seringkali pengguna mengalami kesulitan pada saat proses pengambilan atau pengklasifikasian citra berdasarkan kemiripan citra. Penilaian kemiripan citra dapat diukur berdasarkan perbedaan jarak tepi (Euclidean distance) atau jarak warna (distance metric). Pada penelitian ini dikembangkan aplikasi pengukuran tingkat kemiripan objek citra menggunakan metode modified Hausdorff distance. Nilai kemiripan yang dihasilkan pada proses pengukuran tingkat kemiripan objek menggunakan metode modified Hausdorff distance berupa bilangan desimal. Jika nilai proses mendekati 0 atau sama dengan 0 maka citra dianggap mirip. Implementasi dilakukan menggunakan tiga jenis objek citra dengan masing-masing jenis objek citra memiliki 7 objek citra sehingga keseluruhan objek sebanyak 21 objek citra dengan format JPG dan PNG yang tidak memiliki latar belakang. Tampilan aplikasi ini dibuat menggunakan Graphic User Interface (GUI). Pengujian keakuratan dari aplikasi diukur menggunakan metode efektifitas dengan menghitung perbandingan antara nilai dari aplikasi (AVVR) terhadap nilai responden (IAVVR). Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi yang dibuat memiliki nilai keakuratan mendekati 1, artinya aplikasi dianggap mirip dengan penilaian mata manusia.*

**Kata Kunci:** *Canny, modified Hausdorff distance, pengukuran kemiripan objek, Sobel*

## **Abstract**

*Image processing has developed so rapidly which is marked by the large number of images presented in various fields such as medicine, agriculture, geology, and marine. The number of images presented often users have difficulty when the process of taking or classifying images based on image similarity. Image similarity assessment can be measured based on the difference in edge (Euclidean distance) or color distance (distance metric). In this research application developed to measure the similarity of image objects using the modified Hausdorff distance method. Similarity values generated in the process of measuring the level of similarity of objects using the modified Hausdorff Distance method in the form of decimal numbers. If the process value is close to 0 or equal to 0 then the image is considered similar. Implementation is carried out using three types of image objects with each type of image object having 7 image objects so that the overall object is 21 image objects with JPG and PNG formats that have no background. This application display is made using Graphic User Interface (GUI). Testing the accuracy of the application is measured using the effectiveness method by calculating the comparison between the values of the application (AVVR) against the respondent's value (IAVVR). The test results show that the application made has an accuracy value of close to 1, meaning that the application is considered to be similar to the assessment of the human eye.*

**Keywords:** *Canny, modified Hausdorff distance, object similarity measurement, Sobel*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komputer pada saat ini telah membawa kemajuan yang sangat berarti dalam berbagai aspek terutama bagi negara yang sedang berkembang. Perkembangan tersebut didukung dengan tersedianya perangkat keras dan perangkat lunak yang semakin hebat kemampuannya. Salah satu teknologi yang mengalami perkembangan yang begitu pesat adalah pengolahan citra. Teknologi pengolahan citra dapat masuk ke berbagai bidang seperti kedokteran, industri pertanian, geologi, dan kelautan. Kehadiran teknologi pengolahan citra memberikan kemajuan yang luar biasa pada bidang-bidang tersebut.

Pengolahan citra adalah suatu metode atau teknik yang dapat digunakan untuk memproses citra atau gambar dengan jalan memanipulasinya menjadi data gambar yang diinginkan untuk mendapatkan informasi tertentu [1]. Citra digital banyak digunakan di masyarakat, misalnya untuk bidang medis digunakan untuk mengklasifikasikan penyakit dan di bidang keamanan digunakan untuk pemeriksaan identitas melalui *face detection*. Banyaknya citra yang tersaji seringkali mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi kemiripannya pada saat proses pengambilan atau pengklasifikasian citra. Penilaian kemiripan citra dapat diukur berdasarkan perbedaan jarak tepi (*Euclidean distance*) atau jarak warna (*distance metric*). Pengukuran jarak warna seringkali mengalami ketidakcocokan antara hasil yang diperoleh dengan hasil mata manusia.

Penelitian mengenai identifikasi kemiripan citra telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Leksono, Hidayanto, dan Isnanto melakukan penelitian mengenai identifikasi kemiripan citra sidik jari untuk mengklasifikasi sidik jari menggunakan metode *template matching* [2]. Penelitian yang dilakukan oleh Indarti mengenai identifikasi kemiripan objek pada citra berdasarkan similaritas karakteristik kurva sederhana yang merupakan hasil deteksi tepi objek pada citra menggunakan operator Canny [3]. Penelitian mengenai metode nilai jarak Euclidean, jarak Manhattan, dan jarak Mahalanobis untuk identifikasi kemiripan ciri suatu citra pada kasus deteksi awan Cumulonimbus menggunakan *Principal Component Analysis* telah dilakukan oleh Nugraheny [4]. Penelitian yang dilakukan oleh Kurniasih dan Akbar mengenai identifikasi kemiripan wajah untuk kehadiran karyawan menggunakan algoritma *eigenface* [5].

Beberapa peneliti lain melakukan identifikasi kemiripan citra menggunakan metode *modified Hausdorff distance*. Metode *modified Hausdorff distance* akan menghitung jarak dari setiap titik pada tepi citra antara segmentasi manual dengan segmentasi yang dihasilkan oleh sistem [6]. Halomon melakukan penelitian mengenai identifikasi seseorang berdasarkan jarak rata-rata antara dua pola citra pembuluh darah menggunakan *modified Hausdorff distance* [7]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Harahap, Sundani, dan Agushinta, tingkat kemiripan citra menggunakan metode *modified Hausdorff distance* cukup

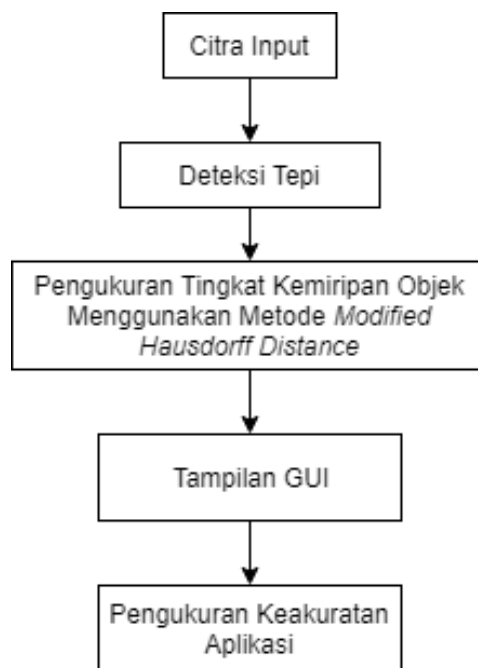
akurat jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari penilaian mata manusia [8].

Oleh karena itu, pada penelitian ini dikembangkan aplikasi pengukuran tingkat kemiripan objek pada citra menggunakan metode *modified Hausdorff distance*. Metode *modified Hausdorff distance* merupakan salah satu metode pengukuran tingkat kemiripan berdasarkan perbedaan jarak tepi yang memiliki hasil akurasi yang baik. Deteksi tepi citra yang digunakan pada penelitian ini yaitu deteksi tepi Canny dan Sobel. Pengujian keakuratan dari aplikasi diukur menggunakan

metode efektifitas dengan menghitung perbandingan antara nilai dari aplikasi (AVVR) terhadap nilai responden (IAVVR).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengumpulan data citra *input*, deteksi tepi citra, pengukuran tingkat kemiripan objek dengan metode *Modified Hausdorff Distance*, pembuatan tampilan GUI, dan pengukuran keakuratan. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Penelitian

### Pengumpulan Data Citra *Input*

Pengumpulan data berupa citra yang diambil secara acak melalui internet sebanyak 21 objek citra dengan format JPG dan PNG yang tidak memiliki latar belakang. Ukuran citra diubah menjadi  $256 \times 256$  piksel. Jenis

citra yang digunakan sebagai citra *input* terdiri dari tiga jenis citra yaitu citra lampu, saksofon, dan stroberi seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. Masing-masing jenis citra terdiri dari satu buah citra uji dan enam buah citra referensi.

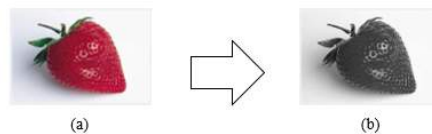


Gambar 2. Citra *Input*

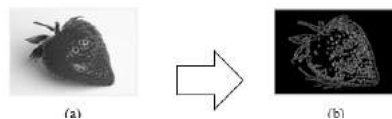
### Deteksi Tepi Citra *Input*

Pada tahap ini dilakukan deteksi tepi dari citra *input*. Tujuan dari deteksi tepi adalah untuk mendapatkan tepi dari suatu objek citra yang selanjutnya digunakan untuk melakukan perhitungan tingkat kemiripan objek citra dengan metode *modified Hausdorff distance*. Deteksi tepi yang digunakan adalah deteksi tepi

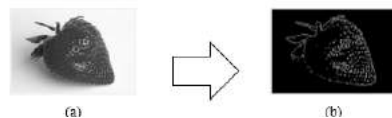
citra Canny dan Sobel. Gambar 3 merupakan salah satu contoh citra *input* yang telah ditransformasi menjadi citra *gray level* sebelum dilakukan deteksi tepi citra. Salah satu contoh hasil deteksi tepi citra menggunakan operator Canny dapat dilihat pada Gambar 4 dan hasil deteksi tepi citra dengan operator Sobel dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Transformasi Citra Asli ke Citra *Gray Level*



Gambar 4. Hasil Deteksi Tepi Dengan Operator Canny



Gambar 5. Hasil Deteksi Tepi Dengan Operator Sobel

### Metode *Modified Hausdorff Distance*

Metode *modified Hausdorff distance* menghitung jarak dari setiap titik pada tepi citra antara citra referensi dan citra uji. Pada

penelitian ini titik-titik yang dihasilkan dari deteksi tepi citra referensi dinyatakan dengan  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , sedangkan titik-titik yang dihasilkan dari deteksi tepi citra uji

dinyatakan dengan  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ . Rumus *modified Hausdorff distance* untuk mengukur jarak antara himpunan titik-titik  $P$  dan  $Q$  seperti pada Persamaan (1).

$$H(P, Q) = \max(h(P, Q), h(Q, P)). \quad (1)$$

dengan  $h(P, Q) = \max\{\min\|p - q\|\}$  dan  $h(Q, P) = \max\{\min\|q - p\|\}$ . Objek dikatakan cocok atau mirip apabila nilai maksimum yang diperoleh mendekati 0 atau sama dengan 0.

## Perancangan Tampilan GUI

Pada aplikasi terdapat tampilan menu utama, menu pengukuran, dan menu petunjuk. Rancangan tampilan GUI menu utama dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 7 merupakan rancangan tampilan GUI pengukuran tingkat kemiripan objek. Rancangan tampilan menu petunjuk dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6. Rancangan Tampilan GUI Menu Utama



Gambar 7. Rancangan Tampilan GUI Pengukuran Tingkat Kemiripan Objek



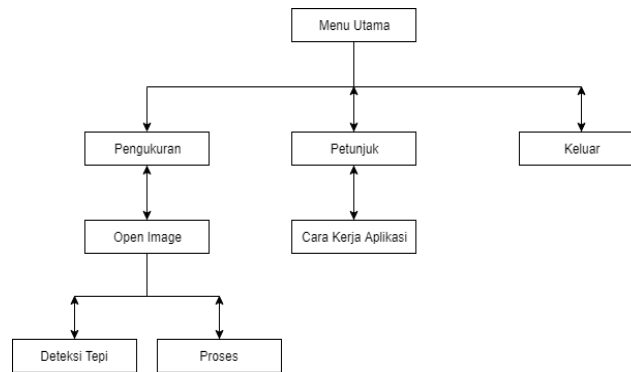
Gambar 8. Rancangan Tampilan GUI Petunjuk



## Perancangan Struktur Navigasi GUI

Struktur navigasi yang digunakan dalam aplikasi ini adalah struktur navigasi campuran yaitu gabungan dari struktur

navigasi hirarki, struktur navigasi linier dan non linier. Struktur navigasi aplikasi pada penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur Navigasi

## Pengukuran Tingkat Kemiripan Objek

Pengujian keakuratan dari aplikasi diukur menggunakan metode efektifitas dengan menghitung perbandingan antara nilai dari aplikasi (AVRR) terhadap nilai responden (IAVRR). Rumus nilai efektifitas seperti pada Persamaan (2) [9].

$$\text{Efektifitas} = \frac{\text{AVRR}}{\text{IAVRR}} \quad (2)$$

dengan rumus AVRR dan IAVRR secara berurutan dapat dilihat pada Persamaan (3) dan (4).

$$\text{AVRR} = \sum_i^T \frac{i}{T} \quad (3)$$

$$\text{IAVRR} = \sum_i^T \frac{r_i}{T} \quad (4)$$

dengan  $T$  adalah jumlah citra relevan,  $i = (1, 2, \dots, T)$  adalah urutan kemiripan citra referensi dengan citra uji dari hasil aplikasi, dan  $r_i$  adalah urutan kemiripan citra referensi dengan citra uji dari hasil penilaian mata manusia.

Responden yang diambil sebanyak 10

orang. Masing-masing responden diminta untuk memberikan penilaian berupa bilangan desimal pada tabel yang disediakan, kemudian responden mengikuti petunjuk berdasarkan indeks penilaian yang telah disediakan. Indeks penilaian kemiripan citra ditetapkan yaitu sangat mirip jika nilai rata-rata penilaian responden 0 – 3, mirip jika nilai rata-rata 3 – 6, dan tidak mirip jika 6 – 9.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah membuka aplikasi, pengguna akan masuk ke halaman menu utama seperti terlihat pada Gambar 10. Pada halaman menu utama terdapat tiga pilihan menu yaitu menu pengukuran, petunjuk dan keluar. Pembuatan halaman tersebut menggunakan fungsi *push button*, karena digunakan untuk pindah ke halaman lain.



Gambar 10. Tampilan Halaman Menu Utama

Tampilan menu pengukuran tingkat kemiripan objek dapat dilihat pada Gambar 11. Pada menu pengukuran terdapat beberapa pilihan tombol pengukuran yang dapat digunakan untuk proses pengukuran suatu citra, serta tombol masukkan gambar, tombol ok, tombol proses, dan tombol kembali.



Gambar 11. Tampilan Menu Pengukuran Tingkat Kemiripan Objek

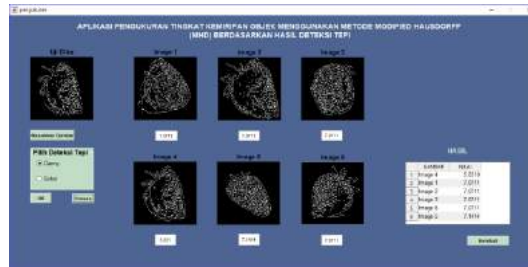
Gambar 12 merupakan contoh tampilan menu pengukuran setelah citra uji dimasukkan. Pada menu pengukuran, pengguna memasukkan citra yang akan diproses dengan menekan tombol masukkan gambar. Kemudian pengguna memilih citra yang dimasukkan. Lalu citra akan ditampilkan pada *axes1* sampai dengan *axes11*. Jika citra telah dimasukkan, pengguna dapat memilih salah satu metode deteksi tepi yang tersedia yaitu Canny dan Sobel.



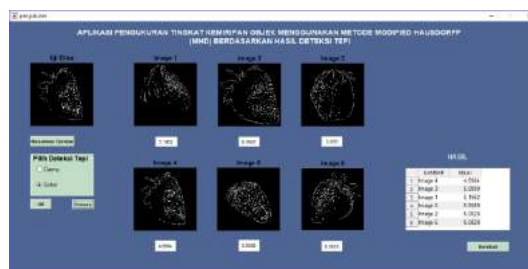
Gambar 12. Contoh Tampilan Menu Pengukuran

Setelah citra dimasukkan dan dipilih metode deteksi tepi yang akan digunakan, selanjutnya pengguna menekan tombol proses untuk memulai pengukuran kemiripan antar citra uji dan citra referensi. Gambar 13

merupakan tampilan setelah citra uji diukur tingkat kemiripannya dengan citra referensi menggunakan deteksi tepi Canny. Tampilan pengukuran tingkat kemiripan citra menggunakan deteksi tepi Sobel dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Tampilan Hasil Implementasi Deteksi Canny



Gambar 14. Tampilan Hasil Implementasi Deteksi Sobel

Berdasarkan Gambar 13 dan 14, pada tampilan aplikasi terdapat tabel hasil pengukuran tingkat kemiripan citra. Nilai-nilai pada tabel tersebut merupakan urutan nilai yang diperoleh dari pengukuran kemiripan citra berdasarkan hasil deteksi tepi Canny atau Sobel.

Pada halaman menu utama terdapat menu petunjuk yang berisi penjelasan tentang cara menggunakan aplikasi. Penjelasan yang diberikan berupa informasi penggunaan fungsi tombol-tombol yang terdapat di halaman pengukuran citra. Gambar 15 merupakan tampilan dari menu petunjuk.



Gambar 15. Tampilan Menu Petunjuk

### Hasil Penilaian Aplikasi Berdasarkan Metode *Modified Hausdorff Distance* dan Penilaian Responden

Hasil penilaian aplikasi berdasarkan metode *modified Hausdorff distance* dan penilaian responden digunakan untuk mengukur keakuratan dari aplikasi. Tabel 1

menunjukkan hasil penilaian aplikasi dengan objek stroberi menggunakan deteksi tepi Canny. Berdasarkan Tabel 1, citra 4 merupakan citra yang memiliki tingkat kemiripan paling tinggi dengan citra uji dibandingkan citra lainnya menggunakan hasil deteksi tepi Canny.

Tabel 1. Hasil Penilaian Aplikasi Menggunakan Deteksi Tepi Canny

Citra	Nilai
Citra 4	5,83
Citra 1	7,07
Citra 2	7,07
Citra 3	7,07
Citra 6	7,07
Citra 5	7,14

Hasil penilaian aplikasi menggunakan deteksi tepi Sobel dengan objek stroberi dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil penilaian aplikasi menggunakan deteksi tepi Sobel sama dengan

hasil penilaian aplikasi menggunakan deteksi tepi Canny. Citra 4 merupakan citra dengan tingkat kemiripan paling tinggi dengan citra uji dibandingkan kelima citra lainnya.

Tabel 2. Hasil Penilaian Aplikasi Menggunakan Deteksi Tepi Sobel

Citra	Nilai
Citra 4	4,69
Citra 3	5,10
Citra 1	5,20
Citra 5	5,66
Citra 2	6,08
Citra 6	6,08

Selanjutnya dilakukan pengujian ketiga untuk membandingkan penilaian mata manusia dengan hasil dari aplikasi pengukuran tingkat kemiripan objek. Hasil penilaian 10 orang responden mengenai tingkat kemiripan citra uji dan citra referensi pada objek stroberi

dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, citra 4 dan 2 merupakan citra sangat mirip dengan citra uji, citra 1 dan 6 merupakan citra yang mirip dengan citra uji, dan citra 3 dan 5 merupakan citra yang tidak mirip dengan citra uji.

Tabel 3. Hasil Penilaian Responden Pada Citra Stroberi

Citra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Citra 1	6	9	7	5	5	6	4	6	5	5	5,8
Citra 2	4	1	2	3	4	2	3	4	3	3	2,9
Citra 3	9	9	9	8	8	7	8	7	9	8	8,2
Citra 4	0	3	1	2	0	1	2	3	1	1	1,4
Citra 5	9	8	8	7	7	8	9	7	6	7	7,6
Citra 6	5,5	6	4	4	6	4	5	4	5	6	4,95

### Hasil Pengukuran Keakuratan Aplikasi

Setelah diperoleh hasil dari metode *modified Hausdorff distance* dan penilaian dari responden, kemudian dilakukan pengukuran keakuratan aplikasi dengan metode efektifitas.

Nilai efektifitas menggunakan deteksi tepi Canny dan Sobel pada tiga jenis citra yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Efektivitas

Citra	Canny	Sobel
Lampu	0,92	0,90
Saksofon	0,90	0,82
Stroberi	1,34	1,06

Berdasarkan Tabel 4, hasil efektifitas aplikasi mendekati 1 artinya hasil aplikasi sesuai dengan hasil penilaian mata manusia. Hasil yang diperoleh dengan deteksi tepi Canny memberikan nilai efektifitas lebih tinggi daripada deteksi tepi Sobel karena hasil deteksi tepi Canny secara visual dapat mendeteksi lebih banyak tepi dibandingkan dengan hasil deteksi tepi Sobel.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Aplikasi ini dapat berjalan dengan baik pada GUI dan dapat menampilkan informasi berupa penilaian kemiripan citra dari urutan tertinggi (paling mirip) sampai terendah. Hasil pengukuran keakuratan dari aplikasi menunjukkan nilai keakuratan mendekati 1, sehingga aplikasi dinyatakan akurat dalam

mengukur tingkat kemiripan objek citra. Pada aplikasi juga menunjukkan bahwa metode *modified Hausdorff distance* dengan deteksi tepi Canny memiliki nilai keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan deteksi tepi Sobel.

Pada penelitian lebih lanjut, aplikasi dapat dikembangkan dengan penambahan jumlah citra *input* dan fungsi-fungsi pada aplikasi seperti *simpan*, *reset*, dan *cetak gambar*. Selain itu, metode pengukuran kemiripan citra lainnya juga dapat digunakan untuk memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode *modified Hausdorff distance*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Zalukhu, "Implementasi metode canny dan sobel untuk mendeteksi tepi citra,"

- Jurnal Riset Komputer*, vol. 3, no. 6, hal 25 – 29, 2016.
- [2] B. Leksono, A. Hidayanto, dan R. R. Isnanto, “Aplikasi metode template matching untuk klasifikasi sidik jari,” *Transmisi*, vol. 13, no. 1, hal. 1 – 6, 2012.
- [3] D. Indarti, “Pengenalan objek pada citra berdasarkan similiaritas karakteristik kurva sederhana,” *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 20, no. 2, hal. 101 – 110, 2015.
- [4] D. Nugraheny, “Metode nilai jarak guna kesamaan atau kemiripan ciri suatu citra (kasus deteksi awan cumulonimbus menggunakan principal component analysis),” *Jurnal Angkasa*, vol. VII, no.2, hal 21 – 30, 2015.
- [5] M. Kurniasih dan S. Akbar, “Identifikasi kemiripan wajah untuk kehadiran karyawan menggunakan algoritma eigenface,” *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. XIII, no.2, hal. 78 – 84, 2018.
- [6] W. Qiang, W. Xuefeng, L. Xuwen, dan J. Kebin, “A modified image matching algorithm based on robust hausdorff distance,” *High Technology Letters*, vol. 20, no. 1, hal. 29 – 33, 2014.
- [7] D. Halomon, “Identifikasi seseorang berdasarkan citra pembuluh darah menggunakan modified hausdorff distance,” *Skripsi*, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 2013.
- [8] A. S. Harahap, D. Sundani, dan D. Agushinta, “Implementasi metode modified hausdorff distance dalam menilai kemiripan citra,” Dalam *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2014)*, vol. 8, 2014, hal. 47 – 52.
- [9] C. Faloutsos, W. Equitz, M. Flickner, W. Niblack, D. Petkovic, dan R. Barber, “Efficient and effective querying by image content,” *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 3, hal 231 – 262, 1994.

# IMPLEMENTASI DEEP LEARNING MENGGUNAKAN FRAMEWORK TENSORFLOW DENGAN METODE FASTER REGIONAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK UNTUK PENDETEKSIAN JERAWAT

<sup>1</sup>Yunita Aulia Hasma, <sup>2</sup>Widya Silfianti

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat  
<sup>1</sup>yunitahasma@gmail.com, <sup>2</sup>ws11f1@gmail.com

## Abstrak

Jerawat sering dialami oleh kaum wanita maupun pria dari usia remaja hingga dewasa. Banyak rumah sakit dan klinik kecantikan yang dapat di datangi oleh para penderita untuk memeriksakan jerawat tersebut. Penelitian ini merupakan implementasi dari pendeteksian jerawat menggunakan image processing dan secara realtime, lalu sistem akan mengklasifikasikan jerawat yang ada pada wajah. Jerawat yang dapat dikenali oleh sistem ini yaitu jerawat, bekas, dan pus. Sistem deteksi dan klasifikasi ini dibuat dengan metode deep learning dengan menggunakan bahasa pemrograman Python, yang dibantu dengan menggunakan framework TensorFlow dengan model Faster R-CNN. Sistem ini hanya dapat berjalan di laptop dengan memiliki Python versi 3.6 di dalamnya dan telah memiliki library Numpy, TkInter, Matplotlib, dan OpenCV dan juga memiliki kamera pada laptop yang digunakan agar dapat menjalankan sistem secara realtime yang didukung dengan GPU yang memadai. Perancangan alur aplikasi menggunakan flowchart diagram. Hasil uji terhadap sistem menggunakan perbandingan objek yang terdeteksi dengan yang seharusnya lalu dibagi dan dikalikan dengan seratus persen. Hasil yang didapat dari pengujian cukup baik menggunakan metode deep learning.

**Kata Kunci:** Deep Learning, Faster R-CNN, Image Processing, Jerawat, Sistem Deteksi, TensorFlow

## Abstract

Acne is often experienced by women and men from adolescence to adulthood. Many hospitals and beauty clinics can be visited by sufferers to check for acne. This research is an implementation of acne detection using image processing and in realtime, and the system will classify the acne on the face. The type of acne which can be recognized by this system is acne, scars, and pus. This detection and classification system is made with the deep learning method using Python for programming language, which is assisted by using the TensorFlow framework with the Faster R-CNN model. This system can only run on laptops with Python version 3.6 or above and has Numpy, TkInter, Matplotlib, and OpenCV libraries and also has a camera on the laptop that is used to be able to run the system in realtime supported by an adequate GPU. The application's flow designed by using the flowchart diagram. The results on the system use a comparison of detected objects with what should be seen with eyes then divided it and then multiplied by one hundred percent. The results obtained from testing are quite good using the deep learning method.

**Keywords:** Acne, Deep Learning, Detection System, Faster R-CNN, Image Processing, TensorFlow

## PENDAHULUAN

Kulit merupakan organ terluar dari tubuh yang melapisi seluruh tubuh manusia, yang memiliki fungsi sebagai pelindung tubuh, indera peraba, alat ekskresi dan pengatur suhu tubuh [1]. Kulit memiliki kondisi yang berbeda khususnya kulit pada wajah. Terdapat beberapa jenis kulit pada wajah, yakni jenis kulit normal, kulit berminyak, kulit kering, dan jenis kulit wajah sensitif. Sebagian orang juga memiliki jenis kulit kombinasi di area yang berbeda [2]. Terdapat beberapa masalah yang dapat menyerang kulit wajah kita, misalnya berjerawat, minyak yang berlebih pada wajah, dan berkomedo.

Dalam pengenalan masalah pada kulit wajah, manusia dapat mengenalinya dengan mudah seperti mengenali jerawat, namun bagaimana hal tersebut dapat diterapkan pada komputer, sehingga komputer dapat mengenalinya. Supaya komputer dapat mengenali masalah tersebut, diperlukan pengenalan yang dilakukan oleh manusia terhadap mesin dengan menjadikan masalah tersebut menjadi suatu objek dalam pengenalan. Pengenalan objek saat ini menjadi salah satu bidang penelitian yang paling efektif dalam ilmu *computer vision*.

Pengenalan objek pada *computer vision* memiliki tujuan utama untuk membuat keputusan yang berguna tentang objek fisik nyata dan pemandangan (*scenes*) berdasarkan image yang didapat dari sensor. Bidang ini pun telah banyak diterapkan dalam berbagai

teknologi seperti sistem keamanan, navigasi robot, dan analisis medis. Untuk melakukan pengenalan objek tersebut, dikenal dengan teknologi *machine learning*. *Machine Learning* ini akan mencoba menirukan bagaimana proses manusia belajar dan mengeneralisasi melalui proses pelatihan, pembelajaran, atau *training* terhadap data yang disebut dengan data *training* lalu akan mengambil kesimpulan dari hasil data untuk dianalisis [3].

Seiring dengan perkembangan zaman, *machine learning* pun memiliki evolusi selanjutnya yang masih bagian dari *machine learning* yaitu *deep learning*, dengan metode lebih kompleks tetapi lebih canggih. *Deep learning* dapat mempelajari metode komputasinya sendiri menggunakan ‘otak’nya sendiri. Teknologi *deep learning* ini salah satu teknologi yang paling populer untuk mengenali suatu kegiatan atau objek yang memiliki tingkat keakuratan lebih tinggi dibanding dengan metode mesin sebelumnya [4]. Proses pembelajaran mesin dilakukan pada komputer yang berfungsi untuk mengkasifikasinya data citra menjadi hasil klasifikasi berupa prediksi. Teknologi *deep learning* merepresentasikan suatu konsep yang kompleks sebagai rangkaian konsep-konsep yang lebih sederhana. *Deep learning* merupakan algoritma jaringan saraf tiruan yang menggunakan data sebagai *input* dan memprosesnya dengan menggunakan sejumlah lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Setelah itu melakukan transformasi non linier dari data masukan untuk menghitung nilai *output* [5].



Beberapa penelitian telah dilakukan di bidang *deep learning*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Danukusumo membahas mengenai implementasi *deep learning* menggunakan *convolutional neural network* dalam mengklasifikasi citra candi berbasis GPU [6]. Penelitian lain menggunakan *convolutional neural network* dalam pengenalan wajah [7]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dewi mengenai pendeteksian objek menggunakan TensorFlow dan *convolutional network* untuk melakukan klasifikasi gambar meja dan kursi motif ukiran Jepara [8].

Dalam penelitian ini, dibuat sebuah sistem pengenalan dan pendeteksian kondisi kulit wajah manusia menggunakan *deep learning* pada citra. Pengenalan kondisi kulit wajah manusia dilakukan menggunakan *framework TensorFlow Object Detection GUI*. Jaringan model yang digunakan dalam mendukung pembelajaran mesin untuk mengenali kondisi wajah manusia adalah jaringan model *Faster R-CNN* dengan *inception* untuk mengenali 3 kondisi kulit wajah, yaitu jerawat, bekas dan *pus* (kondisi jerawat yang akan mengeluarkan nanah).

## METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

a Melakukan *training* dengan algoritma *Faster R-CNN* menggunakan *framework TensorFlow Object Detection GUI*. Saat *training* selesai dilakukan, lalu dilakukan

tahap pengkonversian *checkpoint* pada *training* menjadi *graph*.

b Pengujian dari kondisi wajah pada kulit manusia dengan model mencakup pengujian menggunakan hasil dari data latih yang telah di-*training* terhadap data latih dari citra itu sendiri dan akurasi terhadap banyaknya jumlah data latih.

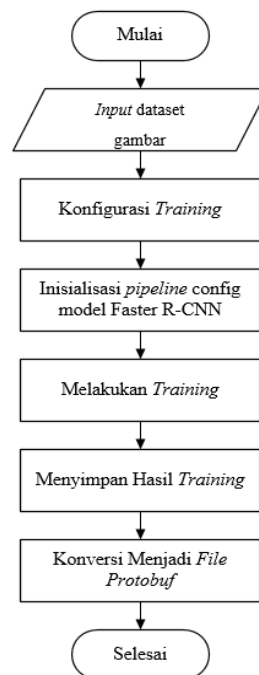
c Hasil dari analisis terhadap pengujian yang sudah dilakukan.

## Alur Proses dari Tahap *Training*

Diagram alur proses ini menampilkan alur dalam melakukan *training* pada *dataset* yang telah di-*input* oleh pengguna. Alur proses tahap *training* dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, proses *training* dimulai dengan meng-*input dataset* gambar yang telah diberikan *label* dengan 3 kelas klasifikasi yaitu jerawat, pus, dan bekas. Selanjutnya yaitu konfigurasi *training* dengan memasukkan jumlah *batch size* bernilai 1, *step*, dan *path configuration*. Selanjutnya, inisialisasi *pipeline training* model *Faster R-CNN (Faster Regional-Convolutional Neural Network)* yang akan digunakan untuk proses *training*. Selanjutnya, proses *training* dari *dataset* yang telah dimasukkan dengan menggunakan model yang telah dikonfigurasi dan dikompilasi. Proses *training* telah berjalan, maka akan tersimpan hasil dari *training* tersebut dengan *file .ckpt (checkpoint step)* yang akan disimpan setiap  $\pm 10$  menit selama proses *training* berjalan. Akhir dari step yaitu mengkonversi *file .ckpt* menjadi *file graph* dengan format

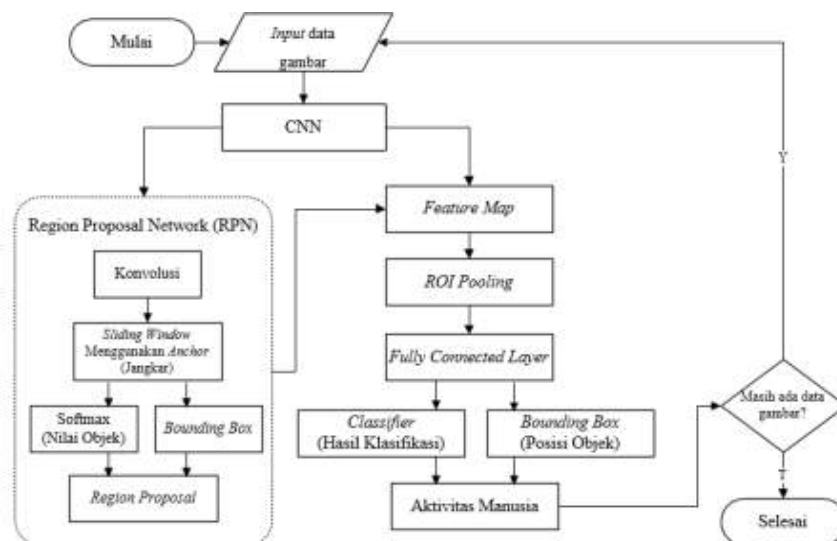
.pb (protobuf), supaya dapat dijalankan untuk proses deteksi dan klasifikasi pada sistem.



Gambar 1. Alur Proses Training

### Alur Proses Training Faster R-CNN

Tahap selanjutnya yaitu proses *training*, yang digunakan untuk melatih seluruh data gambar menggunakan metode *Faster Regional Convolutional Neural Network* untuk dapat memprediksi jerawat yang terdapat pada wajah manusia dengan data gambar ataupun secara *realtime*. Gambar 2 merupakan alur dari proses *training*.

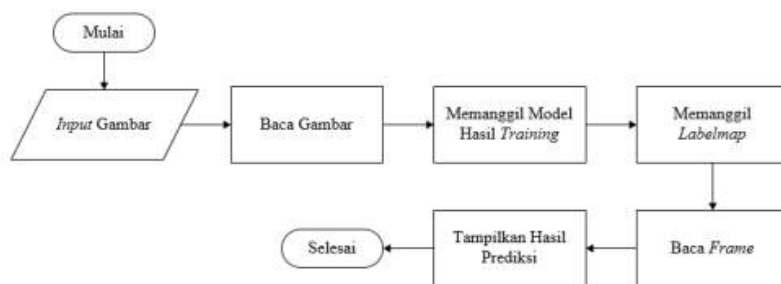


Gambar 2. Alur Training Faster R-CNN

### Alur Proses Prediksi Gambar

Proses dari jalannya prediksi gambar dimulai dengan *input* gambar yang digunakan untuk mendeteksi keadaan kulit. Selanjutnya sistem akan membaca gambar yang telah *input* yang kemudian akan diproses untuk mengenali keadaan kulit yang terdeteksi dari gambar tersebut. Lalu memanggil hasil dari proses *training* yang telah dikonversi menjadi

*file* protobuf, dan akan memanggil *labelmap* untuk mendapatkan definisi dari label untuk prediksi keadaan. Langkah selanjutnya yaitu membaca *frame* dari gambar yang dimasukkan, kemudian akan melakukan dan menampilkan hasil prediksi dari keadaan kulit yang terdeteksi. Alur proses prediksi gambar dapat dilihat pada Gambar 3.

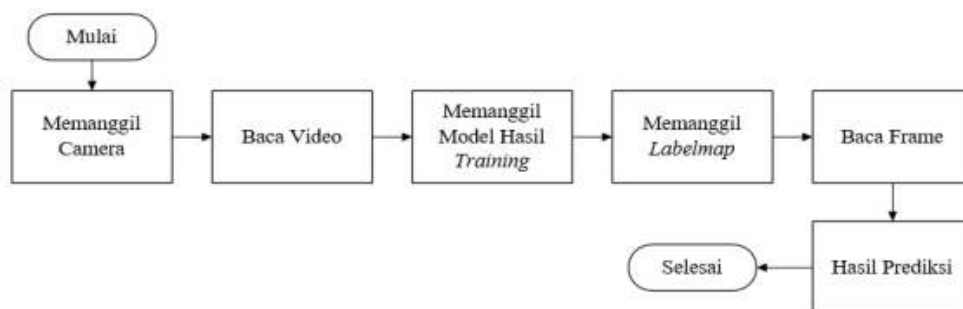


Gambar 3. Alur Proses Prediksi Gambar

### Alur Proses Prediksi *Realtime*

Proses dari jalannya prediksi *realtime* dimulai dengan memanggil kamera yang digunakan untuk mendeteksi keadaan kulit, selanjutnya sistem akan membaca video secara *realtime* yang telah tertangkap kamera kemudian akan diproses untuk mengenali keadaan kulit yang terdeteksi dari gambar tersebut. Memanggil hasil dari proses *training*

yang telah dikonversi menjadi file protobuf, dan akan memanggil *labelmap* untuk mendapatkan definisi dari label untuk prediksi keadaan. Langkah selanjutnya yaitu membaca frame dari masukkan *realtime*, kemudian akan melakukan dan menampilkan hasil prediksi dari keadaan kulit yang terdeteksi. Alur proses prediksi secara *realtime* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur Proses Prediksi *Realtime*

### Pengujian Pengenalan Jerawat

Tahap pengujian untuk pengenalan jerawat ini yaitu melalui pendeteksian menggunakan hasil dari data latih yang telah di-*training* menggunakan metode *transfer learning*. Data sampel yang digunakan adalah gambar wajah manusia yang memiliki masalah pada kulit wajahnya, adapun keadaan pada kulit wajah yang ingin dikenali yaitu jerawat, bekas jerawat, dan pus.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap selanjutnya yaitu melakukan pengujian dari hasil implementasi yang telah dilakukan. Pada pengujian ini, gambar yang digunakan adalah beberapa objek wajah manusia secara dekat dengan memiliki kondisi kulit yang bermasalah, dan hasil pengujian deteksi secara *realtime* menggunakan kamera laptop pada wajah. Objek yang terdeteksi ditandai dengan kotak (*bounding box*) ketika

kondisi dikenali. Kotak yang akan muncul pada tiap kondisi wajah memiliki warna tiap kotaknya yaitu hijau untuk jerawat, kuning untuk bekas dan krem untuk pus.

Nilai persentase pada hasil pengenalan didapatkan dari sebuah *class* yang bernama *graph()*, *class* tersebut bertugas untuk mengkomputasi nilai keluaran pada *neural network* yang merepresentasikan *dataflow* berupa *graph*, *graph* yang dimaksud adalah *graph* yang sudah di-*training* sebelumnya yang berupa *checkpoint* pada saat proses *training* kemudian diekspor ke *graph inference*. Setelah komputasi tersebut selesai, *class* ini akan memanggil tensor berdasarkan nama yang mengembalikan data berupa nama tensor yaitu “*detection\_scores:0*”, skor dari deteksi diinisialisasikan dengan angka 0 agar persentasi hasil yang dikembalikan dimulai dari angka 0% hingga 100%. Contoh hasil deteksi bekas jerawat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Deteksi Bekas

Berdasarkan Gambar 5, hasil dari kondisi kulit pada wajah manusia diperoleh akurasi prediksi sebesar 98% untuk kelas

bekas terhadap gambar yang dideteksi. Contoh hasil deteksi jerawat dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Deteksi Jerawat

Berdasarkan Gambar 6, hasil dari jerawat terhadap gambar yang dideteksi. Kondisi kulit pada wajah manusia diperoleh Contoh hasil deteksi pus dapat dilihat pada akurasi prediksi sebesar 99% untuk kelas Gambar 7.










Gambar 7. Hasil Deteksi Pus



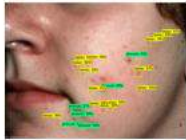


Hasil dari kondisi kulit pada wajah manusia diperoleh akurasi prediksi sebesar 99% untuk kelas pus terhadap gambar yang dideteksi. Percobaan lainnya menggunakan gambar sebanyak 12 gambar pada data latih dari *dataset* untuk tiap-tiap kondisi pada kulit wajah yaitu jerawat, bekas dan pus. Hasil keberhasilan uji coba tersebut terdapat pada Tabel 1.

Hasil uji coba pada Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil rata-rata tingkat akurasi keberhasilan

sebesar 72,4%. Presentase akurasi tersebut diperoleh dengan cara menjumlahkan kondisi yang terdeteksi pada masing-masing objek yang terdeteksi mesin dan pengenalan secara *manual*, lalu hasil dari yang terdeteksi mesin dibagikan dengan hasil yang dikenali secara *manual* lalu dikalikan 100%. Persentase tersebut dapat dikatakan rendah karena masih banyak objek yang tidak dikenali karena intensitas cahaya, dan adanya kemiripan antar kondisi.

Tabel 1. Hasil Uji Coba Deteksi Terhadap

No	Gambar	Kondisi	Dikenali Mesin	Pengenalan Manual	%
1		Jerawat	1	1	100%
		Bekas	-	-	
		Pus	-	-	
2		Jerawat	2	2	100%
		Bekas	-	-	
		Pus	-	-	
3		Jerawat	3	4	50%
		Bekas	4	10	
		Pus	-	-	
4		Jerawat	-	-	60%
		Bekas	2	4	
		Pus	1	1	
5		Jerawat	-	-	58,3%
		Bekas	7	12	
		Pus	-	-	
6		Jerawat	-	-	100%
		Bekas	-	-	
		Pus	1	1	
7		Jerawat	4	4	87,5%
		Bekas	10	12	
		Pus	-	-	

8		Jerawat	2	3	84,6%
		Bekas	9	10	
		Pus	-	-	
9		Jerawat	6	7	57,1%
		Bekas	2	7	
		Pus	-	-	
10		Jerawat	6	8	76,9%
		Bekas	14	18	
		Pus	-	-	
11		Jerawat	-	-	58,6
		Bekas	-	-	
		Pus	17	29	
12		Jerawat	1	4	36,3%
		Bekas	2	6	
		Pus	1	1	
Rata-rata Akurasi Keberhasilan					72,4%

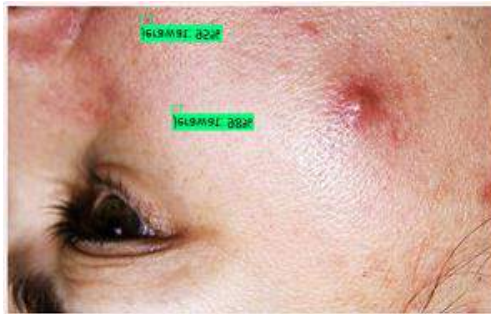
*Positive false rate* merupakan kesalahan dalam mengenali hasil pengujian dimana hasilnya tidak menunjukkan kondisi yang sebenarnya. *Negative false rate* merupakan kesalahan mengenali objek dimana program tidak dapat mengenali kondisi yang seharusnya dikenali. Contoh *positive false rate* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Contoh *Positive False Rate*

Gambar 8 dikatakan *positive false rate* karena terdapat kesalahan dalam mengenali kondisi pus yang seharusnya objek tersebut merupakan objek yang bukan kondisi

sebenarnya. Pada gambar tersebut bukanlah pus melainkan anting yang memiliki kemipiran dengan kondisi pus. Contoh *negative false rate* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Contoh *Negative False Rate*

Gambar 9 merupakan contoh *negative false rate* dimana tidak dapat mengenali kondisi pada kulit wajah yang seharusnya kondisi tersebut merupakan jerawat pada wajah. Uji coba dari pendeteksian secara *realtime* dilakukan dengan tiga kondisi yaitu pertama dilakukan pada siang hari dan dilakukan di dalam ruangan dengan bantuan cahaya

matahari, kedua dilakukan di siang hari dan di luar ruangan dengan bantuan cahaya matahari, dan ketiga dilakukan di malam hari dan di dalam ruangan dengan bantuan cahaya lampu. Gambar 10 merupakan tampilan dari deteksi secara *realtime* pada kondisi pertama yaitu dilakukan pada siang hari di dalam ruangan dengan bantuan cahaya matahari.

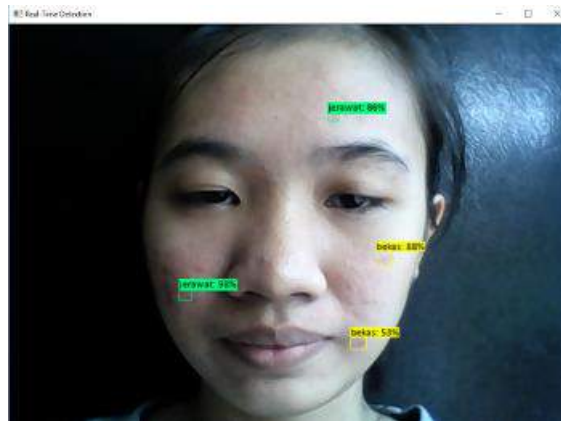


Gambar 10. Sampel Deteksi *Realtime* Kondisi Pertama

Gambar 11 merupakan tampilan dari deteksi secara *realtime* pada kondisi kedua

yaitu dilakukan pada siang hari di luar ruangan dengan bantuan cahaya matahari.





Gambar 11. Sampel Deteksi *Realtime* Kondisi Kedua

Gambar 12 merupakan tampilan dari deteksi secara *realtime* pada kondisi ketiga yaitu dilakukan pada malam hari di dalam ruangan dengan bantuan cahaya lampu.



Gambar 12. Sampel Deteksi *Realtime* Kondisi Ketiga

Uji coba secara *realtime* dilakukan selama 1 menit dengan 30 fps dan menghasilkan 10 *frame*. Selanjutnya dilakukan perhitungan dari jumlah kondisi yang terdeteksi dibandingkan dengan jumlah kondisi *manual* atau yang terlihat sebenarnya. Hasil dari uji coba dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Coba Deteksi Secara *Realtime* Siang Hari Dalam Ruangan

Kondisi	Dikenali Mesin	Pengenalan Manual	%
Jerawat	5	8	71,4
Bekas	10	13	
Pus	-	-	

Tabel 2 merupakan hasil dari keberhasilan uji coba secara *realtime* yang dilakukan pada siang hari di dalam ruangan

dan dengan cahaya matahari. Akurasi deteksi pada siang hari di dalam ruangan sebesar 71,4%.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Deteksi Secara *Realtime* Siang Hari Luar Ruangan

Kondisi	Dikenali Mesin	Pengenalan Manual	%
Jerawat	5	8	76,1
Bekas	11	13	
Pus	-	-	

Tabel 3 merupakan hasil dari keberhasilan uji coba secara *realtime* yang dilakukan pada siang hari di luar ruangan dan

dengan cahaya matahari. Akurasi keberhasilan uji coba deteksi pada siang hari di luar ruangan sebesar 76,1%.

Tabel 4. Hasil Uji Coba Deteksi *Realtime* Malam Hari Dalam Ruangan

Kondisi	Dikenali Mesin	Pengenalan Manual	%
Jerawat	3	8	57,1
Bekas	9	13	
Pus	-	-	

Tabel 4 merupakan hasil dari keberhasilan uji coba secara *realtime* yang dilakukan pada malam hari di dalam ruangan dan dengan cahaya lampu. Akurasi keberhasilan deteksi secara *realtime* pada malam hari di dalam ruangan sebesar 57,1%.

Hasil dari ketiga kondisi di atas menghasilkan akurasi keberhasilan yang berbeda-beda, yaitu 71,4%, 76,1%, dan 57,1%. Semua akurasi dari uji coba deteksi dipengaruhi oleh cahaya. Semakin bagus cahaya dalam proses deteksi maka hasil akurasi semakin bagus, tetapi cahaya yang digunakan terlalu besar juga dapat mempengaruhi hasil deteksi, begitu pula halnya apabila cahaya terlalu sedikit dalam proses pendeteksiannya. Selain

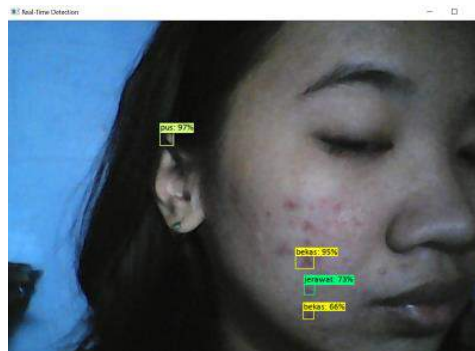
dari cahaya, jarak kamera dan wajah yang akan dideteksi pun dapat mempengaruhi proses pendeteksian.

Dalam proses pendeteksian terdapat kesalahan dalam mengenali kondisi wajah pada manusia, kesalahan tersebut dibagi menjadi dua seperti halnya kesalahan dalam proses deteksi terhadap gambar yaitu *positive false rate* dan *negative false rate*. Kesalahan yang ditemui terdapat pada Gambar 13.

Gambar 13 merupakan gambar dari hasil kesalahan dalam proses pendeteksian secara *realtime*. Dalam gambar tersebut terdapat kesalahan *positive false rate* dan *negative false rate*. Untuk kesalahan *positive false rate* yaitu dalam mendeteksi kondisi pus di daerah

daun telinga yang seharusnya kondisi tersebut bukanlah kondisi untuk pus. Kesalahan *negative false rate* ditunjukkan dengan tidak terdeteksinya

kondisi kulit seperti kondisi bekas jerawat yang terdapat pada kulit wajah karena mesin tidak dapat mendeteksi kondisi tersebut.



Gambar 13. Sampel Kesalahan Proses Deteksi *Realtime*

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian dan implementasi terhadap aplikasi serta proses pengujian, pada penelitian ini telah berhasil dibuat sistem pendeteksian dan pengenalan tiga kondisi kulit pada wajah manusia yaitu jerawat, bekas, dan pus, ketiga keadaan tersebut dijadikan kelas objek untuk proses *training*. Proses *training* menggunakan metode *Faster R-CNN* dengan *dataset* berupa gambar yang memiliki kategori dari ketiga kelas deteksi objek dan menjadi acuan alternatif untuk melakukan deteksi dan klasifikasi pada gambar agar hasil yang didapat maksimal dan lebih efisien.

Proses pengenalan kondisi kulit pada wajah manusia dilakukan dengan 2 tahap, pertama melakukan *training* pada *dataset* yang nantinya akan menghasilkan model yang berguna untuk pengklasifikasian kondisi kulit pada wajah manusia. Tahap kedua yaitu dilakukan proses untuk mengenali kondisi

kulit wajah manusia dengan klasifikasi dimana sistem mengambil *frame/gambar*, kemudian inisialisasi model dari hasil *training*, lalu melakukan proses prediksi menggunakan model, mengambil hasil prediksi, hingga menampilkan hasil prediksi beserta *frame/gambar*.

Uji coba dilakukan dengan memasukkan gambar dan secara *realtime*. Pengujian gambar yang pertama dengan menggunakan 1 gambar, hasil dari proses pendeteksian terhadap model memiliki presentasi yang cukup tinggi, yaitu 98% untuk bekas, 99% untuk jerawat dan 99% untuk pus. Uji coba kedua menggunakan gambar/model yang memiliki beberapa objek di dalamnya dan didapatkan akurasi keberhasilan pendeteksian objek sebesar 72,4%.

Uji coba secara *realtime* juga dilakukan dengan 3 kondisi dalam prosesnya yaitu dilakukan di dalam ruangan pada siang hari dengan bantuan cahaya matahari, dilakukan di

luar ruangan pada siang hari dengan bantuan cahaya matahari dan dilakukan pada malam hari di dalam ruangan dengan bantuan cahaya lampu. Pengujian dilakukan dan menghasilkan nilai akurasi yang berbeda, masing-masing yaitu 71,4% di dalam ruangan pada siang hari dengan bantuan cahaya matahari, 76,1% di luar ruangan pada siang hari dengan bantuan cahaya matahari, dan 57,1% di dalam ruangan pada malam hari dengan bantuan cahaya lampu. Teknologi *deep learning* terbukti bekerja secara efisien karena telah menghasilkan nilai akurasi yang cukup besar pada hasil pendeteksian objek.

Pada penelitian lebih lanjut, pendeteksian jerawat dapat menggunakan pendekatan *deep learning* yang lainnya. Selain itu, pada proses pelatihan dapat menggunakan data gambar yang lebih banyak sehingga menghasilkan model yang dapat mengklasifikasikan jerawat dengan lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. J. R. Kalangi, "Histofisiologi kulit," *Jurnal Biomedik (JBM)*, vol. 5, no. 3, hal. S12 – 20, 2013.
- [2] K. Adrian, "Kenali jenis kulit wajah dan cara merawatnya di sini!," *alodokter.com*, September 2017. [Daring]. Tersedia di: <https://www.alodokter.com/kenali-jenis-kulit-wajah-dan-cara-merawatnya-di-sini>. [Diakses 28 Juli 2018].
- [3] A. A. Hania, "Mengenal artificial intelligence, machine learning, neural network, dan deep learning," *Jurnal Teknologi Indonesia*, 2017.
- [4] L. Deng dan D. Yu, "Deep learning: methods and applications," *Foundations and Trends in Signal Processing*, vol. 7, no. 3 – 4, hal. 197 – 387, 2013.
- [5] R. Primartha, *Belajar machine learning teori dan praktek*. Bandung: Informatika, 2018.
- [6] K. P. Danukusumo, "Implementasi deep learning menggunakan convolutional neural network untuk klasifikasi citra candi berbasis GPU," Skripsi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, 2017.
- [7] H. Abhirawa, Jondri, dan A. Arifianto, "Pengenalan wajah menggunakan convolutional neural network," Dalam e-Proceeding of Engineering, 2017, hal. 4907 – 4916.
- [8] S. R. Dewi, "Deep learning object detection pada video menggunakan tensorflow dan convolutional network," Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018.

# PROTOTYPE ALAT PEMINDAH BARANG DI PELABUHAN BERBASIS ARDUINO

<sup>1</sup>Andrea Darmawan, <sup>2</sup>Nur Sultan Salahuddin, <sup>3</sup>Mochamad Karjadi

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma, <sup>2</sup>Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Gunadarma, <sup>3</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat

<sup>1</sup>andreadarmawan0@gmail.com, <sup>2</sup>sultan@staff.gunadarma.ac.id,

<sup>3</sup>mkaryadi@staff.gunadarma.ac.id

## Abstrak

Dengan berkembangnya teknologi robot, semua pekerjaan manusia dapat dikerjakan dengan mudah tanpa harus membuang tenaga dan mempersingkat waktu. Teknologi robot telah menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan banyak tenaga manusia untuk dioperasikan. Tidak hanya teknologi robot yang berkembang saat ini, teknologi komunikasi juga mengalami perkembangan yang cepat. Smartphone adalah salah satu teknologi saat ini. Penelitian ini menghasilkan robot pemindah barang menggunakan aplikasi Android berbasis Arduino. Tujuan pembuatan robot pemindah barang yaitu untuk mempermudah dan meringankan pekerjaan manusia. Alat ini menggunakan sistem kontrol Arduino yang memiliki Atmega2560. Aplikasi pengendali yang sudah di-install pada smartphone, menggunakan dua buah motor stepper sebagai lengan robot. Berdasarkan hasil uji coba dapat dilihat bahwa lengan robot mampu bergerak dengan baik sesuai dengan perencanaan, yaitu mengangkat barang dari bawah ke atas kapal. Untuk jarak kendalinya pada aplikasi pengendali, mampu dikendalikan tanpa penghalang sejauh  $\pm 15$  meter dan menggunakan penghalang sejauh  $\pm 10$  meter dengan menggunakan media transmisi module bluetooth HC-05.

**Kata Kunci:** Arduino, Atmega2560, module bluetooth HC-05, motor stepper, robot, smartphone

## Abstract

The development of robot technology, all human work can be done easily without having to waste energy and shorten time. Robot technology has replaced manual equipment that requires a lot of manpower to operate. Not only robot technology is developing at this time, communication technology is also experiencing rapid development. Smartphone is one of the current technologies. This research produces an item transfer robot using an Arduino-based Android application. The purpose of making goods moving robots is to simplify and lighten human work. This tool uses an Arduino control system that has Atmega2560. The control application that has been installed on a smartphone, uses two stepper motors as robot arms. Based on the results of the trial, it can be seen that the robot arm is able to move properly in accordance with the plan, namely lifting goods from the bottom to the ship. For the driving distance in the control application, it is able to be controlled without a barrier as far as  $\pm 15$  meters and using a barrier as far as  $\pm 10$  meters by using the HC-05 bluetooth module transmission media.

**Keywords:** Arduino, Atmega2560, module bluetooth HC-05, motor stepper, robot, smartphone

## PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju, teknologi robot mengalami suatu kemajuan yang sangat pesat. Teknologi yang canggih telah menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan banyak tenaga manusia untuk dioperasikan, salah satunya yaitu penggunaan robot. Perkembangan teknologi robotika telah membuat kualitas kehidupan manusia semakin tinggi. Saat ini perkembangan teknologi robotika telah mampu meningkatkan kualitas maupun kuantitas produksi berbagai industri. Robot merupakan mesin yang dapat diprogram untuk melaksanakan suatu pekerjaan sesuai dengan program yang telah dimasukkan ke dalam komputer robot.

Robot manipulator merupakan salah satu jenis robot yang sudah banyak digunakan oleh manusia. Manipulator adalah suatu sistem mekanik yang digunakan dalam memanipulasi pergerakan mengangkat, memindahkan, dan memanipulasi benda kerja untuk meringankan kerja manusia. Robot manipulator dirancang menyerupai lengan manusia yang memiliki sifat fleksibel, sehingga mudah digunakan untuk melakukan pekerjaan yang cepat dan presisi. Robot manipulator (lengan robot) dilengkapi dengan aktuator dan memiliki jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom/DOF*) [1].

Fungsi utama dari robot dalam dunia industri saat ini adalah menggantikan tugas manusia karena dapat melakukan pekerjaan yang berat, presisi, cepat, dan aman. Dalam perancangan dan pembuatan robot, salah satu

hal yang tidak dapat ditinggalkan adalah sistem pengaturan motor. Tanpa pengaturan motor yang baik robot tidak dapat bekerja dengan baik, hal ini dikarenakan hampir semua robot menggunakan motor sebagai penggerakannya. Pada lengan robot, motor akan dituntut untuk gerakan-gerakan seperti gerakan aktuator naik dan turun. Sistem yang demikian memerlukan suatu pengaturan motor yang baik. Perkembangan *smartphone* dengan sistem operasi Android saat ini sudah dapat digunakan sebagai pengendali robot melalui aplikasi yang sudah diprogram, sehingga *smartphone* dapat mengontrol dan mengendalikan pergerakan robot.

Beberapa penelitian juga telah membahas mengenai pembuatan robot pemindah barang. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ramdani membahas mengenai pembuatan miniatur ROPEBA (Robot Pemindah Barang) FT-UHAMKA. Robot lengan miniatur ROPEBA FT-UHAMKA dirancang untuk memberikan gambaran proses pemindahan barang dari satu tempat yang telah ditentukan menuju tempat lain. Robot ROPEBA digerakkan oleh perangkat pengatur mikro atau mikrokontroler Atmega 328P sebagai unit pemrosesan terpusat untuk semua perintah gerakan yang telah ditetapkan. Robot ROPEBA memiliki empat buah motor servo sebagai penggerak lengan serta motor DC *gearbox* untuk menggerakkan *conveyor* pemindah barang [2]. Pada penelitian tersebut, alat dibuat menggunakan sistem otomatis dengan sensor *infrared* sebagai *input* sehingga dibutuhkan tingkat akurasi dan perhitungan yang tepat.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat alat yang menggunakan *bluetooth* pada aplikasi Android sebagai input sehingga alat menjadi semi manual dengan tingkat akurasi yang lebih baik.

Penelitian lain mengenai pembuatan robot pemindah barang telah dilakukan oleh Saputra dan Syufrijal. Pada penelitian tersebut membuat prototipe lengan robot pemindah benda berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*). PLC digunakan untuk mengontrol lengan robot dalam memindahkan benda yang berada di atas piringan secara otomatis. Lengan robot akan mati secara otomatis jika semua benda di atas piringan telah dipindahkan. Pada penelitian tersebut pengapit pada lengan robot tidak dapat mengangkat beban yang terlalu berat karena torsi pada motor servo tidak terlalu kuat [3].

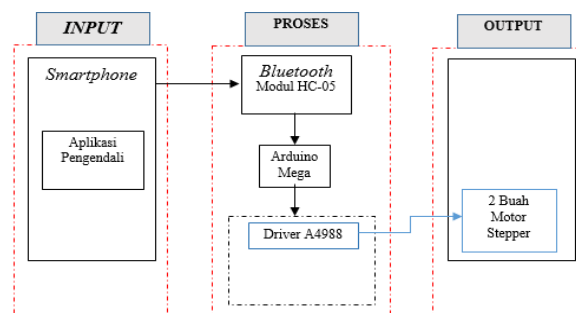
Pada penelitian yang dilakukan oleh Ekayana dan Ary mengenai prototipe sistem kendali lengan robot menggunakan *wireless joystick*. Rata-rata waktu respon robot di ruangan terbuka yaitu  $\pm 1,44$  detik pada jarak 10 – 40 m. Pada ruang tertutup yang diberi penghalang, rata-rata waktu respon robot yaitu  $\pm 1.14$  detik dengan jarak 1 – 7 m. Berdasarkan

hasil uji coba, gripper dengan capit 4 lebih baik pada saat menggenggam benda daripada gripper capit 2 [4]. Pada penelitian tersebut tidak dilakukan uji coba berat beban yang dapat diangkat oleh lengan robot.

Berdasarkan paparan sebelumnya, pada penelitian ini dibuat sebuah prototipe alat pemindah barang di pelabuhan yang dikendalikan menggunakan *smartphone* Android berbasis mikrokontroler Arduino Mega. Alat tersebut digunakan untuk meringankan pekerjaan manusia dalam memindahkan barang dari pelabuhan ke atas kapal. Dengan sebuah manipulator robot berupa lengan robot yang memiliki 2 derajat kebebasan atau *degree of freedom (2-DOF)*. Lengan robot ini bergerak menggunakan *motor stepper* yang akan dikendalikan oleh mikrokontroler berupa Arduino Mega.

## METODE PENELITIAN

Blok diagram pada prototipe alat pemindah barang di pelabuhan berbasis Arduino terdiri dari blok *input*, blok proses, dan blok *output*. Blok diagram tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

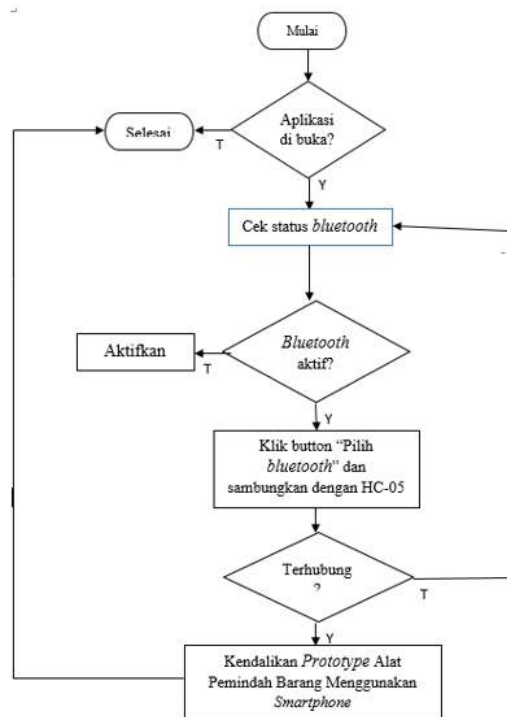


Gambar 1. Blok Diagram

Gambar 1 menunjukkan perancangan diagram blok terdiri dari tiga bagian yaitu *input*, proses, dan *output*. Pada blok *input* terdapat aplikasi pengendali yang terdapat pada *smartphone* yang berfungsi untuk mengendalikan pergerakan lengan robot. Pada blok proses terdapat 3 buah komponen, yaitu modul *bluetooth* HC-05 yang berfungsi sebagai media komunikasi antara *smartphone* dengan sistem, Arduino Mega yang di dalamnya terdapat mikrokontroler Atmega2560 sebagai tempat pengolahan data,

serta memberikan perintah pada rangkaian *motor stepper*, dan 2 buah *driver motor stepper* yang berfungsi untuk pengontrol arah putaran dan kecepatan *motor stepper* [5,6]. Pada blok *output* terdapat 2 buah *motor stepper* yang berfungsi sebagai aktuator prototipe alat pemindah barang.

Gambar 2 merupakan diagram alur alat bekerja dari mulai hingga berakhir. Diagram alur ini mengikuti algoritma program dari prototipe alat pemindah barang di pelabuhan berbasis Arduino.



Gambar 2. Diagram Alur Sistem

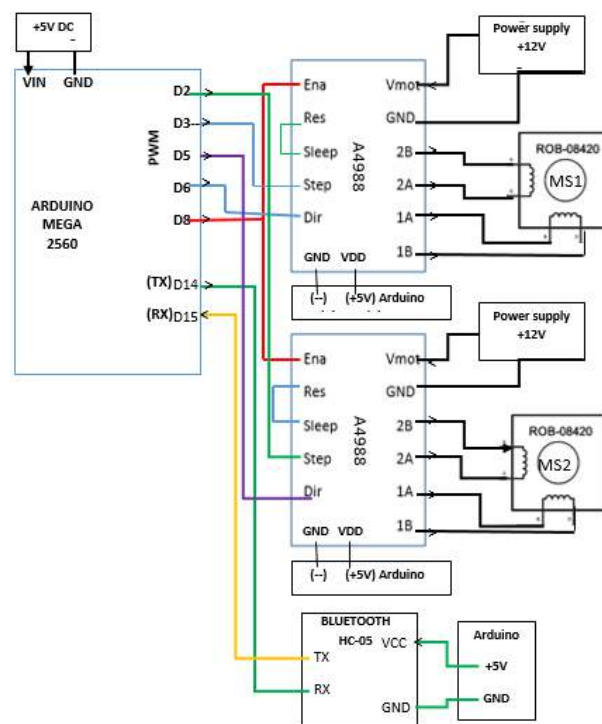
Pada Gambar 2 dijelaskan uraian cara kerja sistem alat pemindah barang. Langkah pertama yaitu mulai yang menandakan memulai kerja alat. Selanjutnya keputusan aplikasi dibuka atau tidak, apabila tidak

dibuka (T) maka akan selesai, jika dibuka (Y) akan menuju ke proses cek status *bluetooth*. Setelah cek status *bluetooth* ada keputusan *bluetooth* aktif atau tidak aktif, apabila *bluetooth* tidak aktif (T) maka menuju ke



proses aktifkan *bluetooth*, jika *bluetooth* aktif klik *button* “pilih *bluetooth*” dan sambungkan dengan HC-05. Selanjutnya menuju ke keputusan *bluetooth* terhubung atau tidak terhubung, apabila *bluetooth* tidak terhubung (T) maka akan menuju ke proses cek status *bluetooth*, jika terhubung maka akan menuju

ke proses kendalikan alat pemindah barang secara manual. Rangkaian secara detail akan dijelaskan agar mempermudah dalam memahami cara kerja dari prototipe alat pemindah barang di pelabuhan berbasis Arduino. Skema rangkaian alat secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Rangkaian Keseluruhan

Untuk mengendalikan prototipe alat pemindah barang, terlebih dahulu *bluetooth* pada *smartphone* sudah terhubung dengan *bluetooth module* HC-05 pada rangkaian sistem prototipe alat pemindah barang. Kemudian dibuka aplikasi pengendali untuk mengendalikan prototipe alat pemindah barang secara manual, dan data tersebut dikirimkan melalui *bluetooth* pada *smartphone* yang berfungsi sebagai

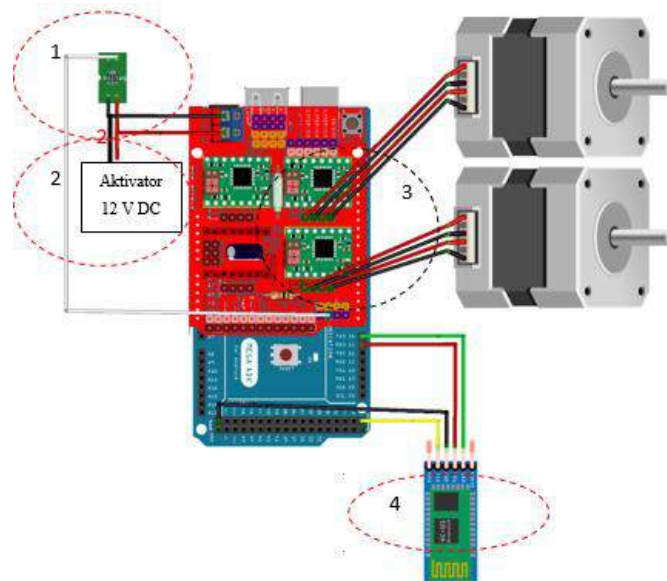
*transmitter* dan diterima oleh *bluetooth module* HC-05 sebagai *receiver*. Setelah diterima oleh *bluetooth* HC-05, selanjutnya data yang masuk akan diproses pada Arduino Mega, melalui pin digital D14 (TX) dan pin digital D15 (RX). Data yang masuk pada Arduino akan diproses sesuai dengan program yang dibuat pada IDE Arduino. Selanjutnya Arduino akan memberikan *output* berupa pulsa-pulsa menuju *driver* A4988.

Selanjutnya *driver* A4988 akan mengolah data masukan yang berasal dari pin 2, 3, 5, 6, dan 8 untuk menggerakkan *motor stepper*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur nilai tegangan pada alat tersebut.

Pengukuran dilakukan pada saat keadaan aktif yaitu pada saat *motor stepper* diam dan pada saat *motor stepper* bergerak. Terdapat beberapa titik pengambilan data yang dilakukan pada prototipe alat pemindah barang di pelabuhan. Titik pengambilan data tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Titik Pengambilan Data

Titik pengujian tegangan pada rangkaian prototipe alat pemindah barang yaitu pengujian tegangan *input* ke Arduino, pengujian tegangan *input* ke *diver* A4988, pengujian tegangan pada *driver* A4988, dan pengujian tegangan pada modul *bluetooth*

HC-05. Titik uji aktifator dilakukan dengan mengukur tegangan dari *output* regulator ke *input* Arduino dan dari *power supply* ke *driver* A4988. Hasil pengukuran tegangan pada blok aktifator dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran Tegangan pada Blok Aktifator

No.	Keterangan	Tegangan	Kondisi
1.	Tegangan <i>input</i> Arduino	4,97 V	Aktif
2.	Tegangan <i>input driver</i> A4988	12,23 V	Aktif

Berdasarkan Tabel 1, pengujian dilakukan dengan kondisi adanya tegangan yang mengalir

(aktif), tegangan yang keluar dari regulator ke Arduino diperoleh sebesar 4,97 V. Tegangan

dari *power supply* ke *driver* A4988 diperoleh sebesar 12,23 V.

Titik uji pengukuran pada *driver motor stepper* dilakukan dengan menguji tegangan pada pin *driver motor stepper* yang terhubung pada pin Arduino. Pengukuran dilakukan dengan 2 kondisi, yaitu pada saat *motor stepper*

aktif (*high*) dan pada saat *motor stepper* mati (*low*). Pada pengukuran *driver* A4988 *motor stepper* 1 diukur tegangan *output* yang mengalir pada pin STEP, DIR, dan ENA *driver* A4988. Hasil pengukuran tegangan pada *driver* A4988 untuk *motor stepper* 1 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Tegangan pada *Driver* A4988 MS1

No.	Kondisi <i>Motor Stepper</i> 1	D3 (STEP)	D6 (DIR)	D8 (ENA)
1.	Tidak Aktif	0,04 V	0,05 V	0,01
2.	Aktif	1,48 V	4,82 V	0,01

Berdasarkan Tabel 2, pada Pin STEP *driver* A4988 saat kondisi *motor stepper* tidak aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.04 V. Pada saat kondisi *motor stepper* aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 1.48 V. Pada pin DIR *driver* A4988 saat kondisi *motor stepper* tidak aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.05 V. Pada saat kondisi *motor stepper* aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 4.82 V. Pada pin ENA

*driver* A4988, saat kondisi *motor stepper* tidak aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.01 V. Pada saat kondisi *motor stepper* aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.01 V.

Pada pengukuran *driver* A4988 *motor stepper* 2 diukur tegangan *output* yang mengalir pada pin STEP, DIR, dan ENA *driver* A4988. Hasil pengukuran tegangan pada *driver* A4988 untuk *motor stepper* 1 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran Tegangan pada *Driver* A4988 MS2

No.	Kondisi <i>Motor Stepper</i> 2	D3 (STEP)	D6 (DIR)	D8 (ENA)
1.	Tidak Aktif	0,04 V	0,05 V	0,01
2.	Aktif	1,50 V	4,87 V	0,03

Berdasarkan Tabel 3, pada pin STEP *driver* A4988, saat kondisi *motor stepper* tidak aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.04 V. Pada saat kondisi *motor stepper* aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 1.50 V. Pada pin DIR *driver* A4988, saat kondisi *motor stepper* tidak aktif, tegangan *output*

yang mengalir sebesar 0.05 V. Pada saat kondisi *motor stepper* aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 4.87 V. Pada pin ENA *driver* A4988, saat kondisi *motor stepper* tidak aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.01 V. Pada saat kondisi *motor stepper* aktif, tegangan *output* yang mengalir sebesar 0.03 V.

Pengujian jarak antara *smartphone* dengan robot bertujuan untuk mengetahui berapa jarak jangkauan *smartphone* dengan robot menggunakan media transmisi *module*

*bluetooth* HC-05. Pengujian ini dilakukan dengan dua percobaan, yaitu pengujian jarak tanpa penghalang dan pengujian jarak dengan penghalang.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Jarak

No.	Jarak (meter)	Tanpa Penghalang	Berpenghalang
1.	1	Terhubung	Terhubung
2.	5	Terhubung	Terhubung
3.	10	Terhubung	Terhubung
4.	15	Terhubung	Tidak Terhubung
5.	20	Tidak Terhubung	Tidak Terhubung

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian yang telah dilakukan, untuk mengendalikan prototipe alat pemindah barang menggunakan aplikasi pengendali tanpa penghalang dengan menggunakan media transmisi *module bluetooth* HC-05, jarak terjauh prototipe alat pemindah barang yang dapat terhubung dengan *smartphone* adalah sejauh 15 meter. Apabila jarak lebih dari 15 meter maka koneksi *bluetooth* melemah, bahkan tidak dapat terhubung. Apabila menggunakan penghalang yaitu tembok dengan menggunakan media transmisi *module bluetooth* HC-05 jarak

terjauh prototipe alat pemindah barang yang dapat terhubung dengan *smartphone* adalah sejauh 10 meter. Apabila jarak lebih dari 10 meter maka koneksi *bluetooth* melemah, bahkan tidak dapat terhubung.

Pengujian ini dilakukan untuk menguji pengangkatan beban barang pada lengan robot. Beban barang yang diangkat dilakukan dengan penambahan setiap 50 gram, dimana berat awal barang adalah 100 gram dan setiap pengujian ditambah 50 gram hingga total berat mencapai 350 gram. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengangkatan Beban Barang Menggunakan Lengan Robot

No.	Berat Barang (Gram)	Keterangan (Terangkat)
1.	100	Terangkat
2.	150	Terangkat
3.	200	Terangkat
4.	250	Terangkat
5.	300	Terangkat
6.	350	Tidak Terangkat

Berdasarkan Tabel 5 pada pengujian pengangkatan beban barang, dimana maksimum barang yang dapat diangkat oleh robot sebesar 300 gram. Apabila beban lebih berat dari 300 gram, robot tidak mampu mengangkat barang tersebut.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian pada prototipe alat pemindah barang di pelabuhan yang telah dibuat pada penelitian ini, lengan robot berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Beban barang yang dapat diangkat pada saat pengujian maksimum seberat 300 gram. Aplikasi pengendali dapat berfungsi dengan baik untuk mengendalikan lengan robot. Lengan robot dapat dikendalikan menggunakan *smartphone* berbasis Android dari jarak jauh dengan menggunakan media transmisi jaringan nirkabel *module bluetooth* HC-05 yang memiliki frekuensi 2.4GHz. Jarak yang dapat dijangkau *smartphone* dengan *module bluetooth* HC-05 tanpa penghalang sejauh  $\pm 15$  meter dan jarak yang dapat dijangkau *smartphone* dengan *module bluetooth* HC-05 menggunakan penghalang sejauh  $\pm 10$  meter.

Pada penelitian lebih lanjut, alat dapat dikembangkan sehingga dapat dikendalikan dari jarak yang lebih jauh. Selain itu, pada pengembangan alat dapat diperhatikan mengenai masalah keamanan alat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. D. Saputra, "Pengendali robot transform menggunakan aplikasi Android berbasis mikrokontroler," *Skripsi*, Universitas Gunadarma, Jakarta, 2015.
- [2] M. Ramdani, Sahrudin, A. Octavianto, Mujirudin, dan H. Ramza, "Miniatu ropeba (robot pemindah barang) FT – UHAMKA," *Ejournal Kajian Teknik Elektro*, vol. 3, no.1, hal. 67 – 78, 2018.
- [3] V. R. Saputra dan Syufrijal, "Prototipe lengan robot pemindah benda berbasis PLC (Programmable Logic Controller)," *Jurnal Autocracy*, vol. 3, no. 2, hal 129 – 139, 2016.
- [4] A. A. G. Ekayana dan I. G. N. K. Ary, "Rancang bangun *prototipe* sistem kendali lengan robot menggunakan interface wireless 2.4Ghz," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 6, no. 1, hal. 116 – 125, 2017.
- [5] A. Kadir, *From zero to pro arduino*. Yogyakarta: Andi, 2015.
- [6] W. Budiharto, *Elektronika digital dan mikroprosesor*. Yogyakarta: Andi, 2014.

# **ANALISIS NILAI *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* (OEE) UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA MESIN EXUDER DI PT PRALON**

**Pahmi Hamda**

*Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat  
fahmimous@gmail.com*

## **Abstrak**

*Mesin merupakan salah satu peranan penting dalam keberhasilan suatu perusahaan dalam memenuhi permintaan konsumen. PT Pralon perusahaan industri yang bergerak dibidang pembuatan pipa pelastik. Produk yang dihasilkan salah satunya adalah pipa berbahan pelastik jenis HDPE. Permasalahan yang terjadi adalah rendahnya efisiensi produksi pipa tersebut terutama dalam penggunaan mesin yang disebabkan tidak tercapainya produktivitas mesin. Mesin produksi yang digunakan sering mengalami breakdown terutama pada mesin exuder tipe HDPE No.4 dengan besar persentase breakdown sebesar 17,432%. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dilakukan analisis Total Productive Maintenance (TPM) dengan menggunakan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan dilakukan analisis diagram sebab akibat untuk usulan perbaikan. Hasil analisis menunjukkan Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk mesin exuder diperoleh rata-rata sebesar 37,129%, dimana dengan aktivitas yang diukur pada indeks ketersediaan sebesar 94,618%, kinerja sebesar 39,321%, dan kualitas sebesar 99,845%. Perbaikan yang diusulkan yang pertama adalah menjalankan perawatan pencegahan berdasarkan jadwal perawatan yang telah direncanakan serta membuat laporan diakhir kegiatan perawatan. Usulan berikutnya adalah meningkatkan manajemen pemasaran untuk dapat meningkatkan permintaan setiap periodenya sehingga mengurangi waktu mesin menganggur. Usulan ketiga mengenai pengadaan spare part harus lebih aktif agar tidak terlalu lama apabila terjadi masalah pada mesin yang diharuskan mengganti komponen mesin.*

**Kata Kunci:** *breakdown, perawatan mesin, PT Pralon, total productive maintenance*

## **Abstract**

*The machine is one of the important roles in the success of a company in meeting consumer demand. PT Pralon is an industrial company engaged in manufacturing plastic pipes. One of the products produced is HDPE type plastic pipe. The problem that occurs is the low efficiency of the production of the pipe, especially in the use of machinery due to not achieving engine productivity. Production machines used often experience breakdowns, especially on HDPE No.4 type exuder machines with a large breakdown percentage of 17.432%. Based on these problems, an analysis of Total Productive Maintenance (TPM) was conducted using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) method and a causal diagram analysis was carried out for proposed improvements. The results of the analysis show that Overall Equipment Effectiveness (OEE) for the exuder machine obtained an average of 37.129%, where with the activity measured at the availability index of 94.618%, performance of 39.331%, and quality of 99.845%. The first proposed improvement is to carry out preventive maintenance based on the planned maintenance schedule and make a report at the end of the maintenance activity. The next proposal is to improve marketing management to be able to increase demand every period so as to reduce the time the machine is unemployed. The third proposal regarding the procurement of spare parts must be more active so that it does not take too long if there is a problem with the machine that is required to replace the engine components.*

**Keywords :** *breakdown, machine maintenance, PT pralon, total productive maintenance*

## PENDAHULUAN

PT Pralon merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang manufaktur dengan jam operasional mesin yang tinggi yaitu selama 24 jam setiap harinya. Jam operasional yang cukup padat tersebut menjadi salah satu kendala dalam melakukan perawatan. Hal ini didukung dengan proses produksi yang menggunakan banyak mesin yang terintegrasi mulai dari mesin ekstruder sampai mesin *tip table*. Masing-masing mesin tersebut terdapat beberapa fungsi dan karakteristik yang berbeda-beda. Setelah melakukan studi pendahuluan diketahui terdapat mesin yang kurang optimal sehingga dapat mengganggu kinerja dalam proses produksi.

Secara khusus permasalahan yang ada di PT Pralon adalah rendahnya tingkat efisiensi penggunaan mesin. Rendahnya efisiensi dalam penggunaan mesin akan menyebabkan tidak tercapainya produktivitas mesin. Tidak tercapainya produktivitas mesin dipengaruhi oleh mesin yang sering mengalami *breakdown*. Salah satu mesin yang sering mengalami *breakdown* adalah mesin ekstruder HDPE dengan tingkatan *breakdown* hampir sebesar 17,432% dari waktu keseluruhan kerja mesin. Berdasarkan data yang didapat dari perusahaan, *breakdown* diperoleh dari data kerusakan mesin ekstruder HDPE No.4 pada bulan Maret 2017. *Breakdown* yang terjadi pada mesin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya perawatan mesin yang tidak dilakukan secara berkala dan umur mesin yang sudah tua. Oleh

karena itu, peralatan-peralatan penunjang proses produksi ini harus selalu dilakukan perawatan yang teratur dan terencana [1].

Perawatan atau pemeliharaan peralatan penunjang produksi yang sering diterapkan oleh perusahaan manufaktur di Jepang adalah *total productive maintenance* (TPM) [2]. *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) merupakan bagian utama dari sistem Perawatan Produktif Total (TPM). OEE merupakan ukuran menyeluruh yang mengidentifikasi tingkat produktivitas mesin dan peralatan dari kinerja secara teori [3]. Nilai efektivitas peralatan secara keseluruhan untuk mendapatkan pencapaian *performance* dan *reliability* merupakan ukuran keberhasilan penerapan TPM menggunakan metode OEE [4].

Pengukuran yang bersifat menyeluruh ini sangat penting untuk mengetahui area yang perlu di tingkatkan produktivitas mesin. Pada metode OEE dilakukan pengukuran kinerja mesin untuk meningkatkan kinerja mesin secara individu dengan mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh tidak efektifnya penggunaan mesin [5]. Salah satu cara untuk mengurangi *reduce speed loss* yang tinggi adalah melakukan perawatan secara rutin, meningkatkan pengawasan dan pemberian motivasi kepada operator, meningkatkan pemeriksaan atau *quality control* pada material, merenovasi ruangan pada rantai produksi dengan mengutamakan kesehatan karyawan, meningkatkan frekuensi pengecekan disetiap shift kerja dan melakukan pendokumentasian daftar permasalahan, pergantian spare part

dan kerusakan [6]. Berdasarkan uraian mengenai latar belakang masalah dan penelitian terdahulu maka tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai efektifitas dari mesin exuder dengan menggunakan metode OEE dan usulan untuk meningkatkan nilai dari *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada mesin *exuder*.

## METODE PENELITIAN

Metode analisis dalam penelitian ini dirancang dengan menggunakan dasar teori yang meliputi teori mengenai kinerja mesin, *Total Productive Maintenance (TPM)*, *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, dan teknik-teknik perbaikan kualitas diagram sebab akibat dan 5W+1H. Analisis ini dilakukan pada setiap langkah *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* sesuai dengan polanya.

Pengamatan dan pengambilan data mesin exuder HDPE dilakukan di PT Pralon cabang Cimanggis yang berlokasi di Jl. Raya Bogor Km. 32.5, di Kecamatan Cimanggis. Penerapan perawatan mesin yang digunakan adalah dengan menggunakan *Total Productive Maintenance (TPM)*. Tingkat produktivitas dan efisiensi mesin diukur dengan menggunakan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*.

Metode pengumpulan data menggunakan data kuantitatif yang diambil dari 8 bulan pada tahun 2017. Data tersebut berasal dari pengumpulan data mesin exuder. Analisis data dilakukan dengan langkah-langkah

dari metode *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* [7]. Pada penelitian ini, teknik – teknik perbaikan kualitas diperoleh menggunakan Diagram Pareto dan Diagram Sebab Akibat.

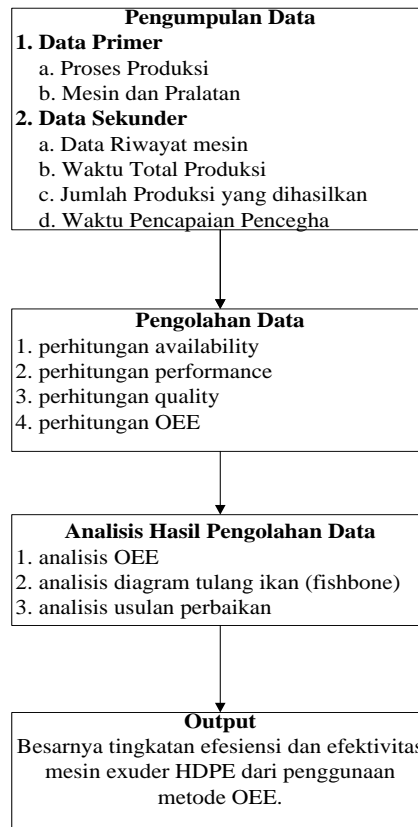
Tahapan penelitian dimulai dengan mempersiapkan kebutuhan penelitian hingga melakukan penelitian langsung dilapangan. Tahapan penelitian dijelaskan pada Gambar 1 berikut.

Berdasarkan tahapan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1, terdapat empat langkah utama dalam penelitian yang meliputi pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil pengolahan data dan yang terakhir adalah *output* yang dihasilkan. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder. Perhitungan OEE dilakukan pada tahap pengolahan data, sedangkan usulan perbaikan didapat pada tahap analisis hasil pengolahan. Output yang dihasilkan berupa besarnya tingkat efisiensi dan efektifitas mesin exuder HDPE.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perawatan terencana (*preventive maintenance*) merupakan waktu yang sudah dijadwalkan dalam rencana proses produksi yang dilakukan oleh perusahaan agar tidak terjadi kerusakan pada saat proses produksi sedang berlangsung. Tabel 1 ditunjukkan data mesin Exuder HDPE Tahun 2017. Kolom 1 menunjukkan data perawatan mesin terencana.





Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tabel 1. Data Mesin Exuder HDPE Tahun 2017

Periode (2017)	Total Waktu Perawatan (Jam)	Total Waktu Kerusakan (Jam)	Available Time (Jam)	Planned Down time (Jam)	Loading Time (Jam)	Breakdown (Jam)	Setup Time (Jam)	Down time (Jam)	Operation Time (Jam)
Januari	50	5,24	480	50	430	5,24	9,55	14,79	415,21
Februari	65	10,25	480	65	415	10,25	16,10	26,35	388,65
Maret	65	18,35	480	65	415	18,35	16,22	34,57	380,43
April	55	7,45	480	55	425	7,45	10,12	17,57	407,43
Mei	50	12,25	480	50	430	12,25	10,87	23,12	406,88
Juni	55	8,55	480	55	425	8,55	11,46	20,01	404,99
Juli	60	8,2	480	60	420	8,2	12,17	20,37	399,63
Agustus	60	9,90	480	60	420	9,90	15,42	24,62	395,38

Pada kolom 2 diberikan data kerusakan pada mesin *exuder*. *Availability rate* atau tingkat ketersediaan adalah salah satu standar dalam mengukur nilai OEE, dimana dengan memperhatikan total waktu kerusakan yang dihasilkan dari *loading time*, *down time*, dan

*operation time*. Data *loading time* untuk mesin *exuder* pada bulan Januari sampai Agustus 2017 dapat dilihat pada Tabel 1 pada kolom kelima yang diperoleh dari *Available Time* dikurangi dengan *Planned Down time*. Pada Kolom ke-9, data *down time* diperoleh dengan melakukan

penjumlahan antara *breakdown* dengan *setup time*. Nilai *operation time* diperoleh dari *loading time* dikurangi dengan *down time* yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 kolom ke-10.

### Perhitungan Availability Rate

Pengukuran *availability rate* mesin *exuder* selama bulan Januari sampai Agustus 2017 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Nilai Availability Rate Mesin Exuder

Bulan	Loading Time (Jam)	Operation Time (Jam)	AR (%)
Januari	430	415,21	96,561
Februari	415	388,65	93,650
Maret	415	380,43	91,669
April	425	407,43	95,865
Mei	430	406,88	94,623
Juni	425	404,99	95,291
Juli	420	399,63	95,15
Agustus	420	395,38	94,138
Rata – Rata (%)			94,618

Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan nilai *availability rate* mesin *exuder* pada bulan Januari sampai Agustus 2017. Informasi yang dapat diperoleh adalah nilai *availability rate* pada bulan Januari sampai Agustus 2017. *Availability rate* pada bulan Januari 2017 diperoleh sebesar 96,561%, artinya penggunaan waktu yang tersedia pada kegiatan mesin *exuder* sebesar 96,561%.

*Performance rate* (tingkat kinerja) merupakan salah satu parameter dalam mengukur nilai OEE, dimana dengan memperhatikan *total product processed* (kuantitas produk yang dihasilkan), *ideal cycle time* (waktu siklus), serta *operation time* (waktu proses). *Total product processed* merupakan kuantitas produk yang dihasilkan dengan kriteria *QC* pada PT Pralon. Data *total product processed* pada mesin *exuder* selama bulan Januari sampai Agustus 2017 dapat dilihat pada Tabel 3.

### Perhitungan Kinerja Mesin (Performance)

Tabel 3. Data Quantity of Good Product Mesin Exuder

Bulan	Total Product Processed (Kg)	Reduced Yield (Kg)	Reject and Rework (Kg)	Quantity of Good Product (Kg)
Januari	98.872,4	0	63,34	98.809,6
Februari	73.812,8	0	320	73.492
Maret	154.203	0	180,5	154.2
April	173.365	0	220,6	173.144
Mei	83.422,5	0	77,5	83.345
Juni	79.077,9	0	225	78.852

Juli	171.636	0	76,8	171.559
Agustus	130.980	0	86,22	130.894

Pada Tabel 3 ditunjukkan data *total product processed* pada bulan Januari sampai Agustus 2017. Informasi yang dapat diperoleh adalah *total product processed, reduced yield, reject and rework*, serta *total product processed*. *Ideal Cycle Time* merupakan besarnya waktu siklus pada mesin *exuder*, artinya besarnya waktu standar pada mesin *exuder* untuk dapat membuat satu produk jadi. Data *ideal Cycle Time* mesin *exuder* pada bulan Januari sampai Agustus 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data *Ideal Cycle Time* Mesin *Exuder*

Bulan	<i>Ideal Cycle Time</i> (Jam / Kg)
Januari	0,0013
Februari	0,0013
Maret	0,0013
April	0,0013
Mei	0,0013
Juni	0,0013
Juli	0,0013
Agustus	0,0013

*Performance rate* merupakan suatu tingkat dari apa yang seharusnya dihasilkan pada periode tertentu. Perhitungan *performance rate* dapat dilakukan setelah perhitungan *quantity of good product, ideal cycle time*, dan *operation time*. Pengukuran *performance rate* mesin *exuder* selama bulan Januari sampai Agustus 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengukuran Nilai *Performance Rate* Mesin *Exuder*

Bulan	<i>Total Product Processed</i> (Kg)	<i>Ideal Cycle Time</i> (Jam)	<i>Operation Time</i> (Jam)	PR (%)
Januari	98.872,4	0,0013	415,21	30,936
Februari	73.812,8	0,0013	388,65	24,689
Maret	154.203,2	0,0013	380,43	52,694
April	173.365,2	0,0013	407,43	55,316
Mei	83.422,5	0,0013	406,88	26,653
Juni	79.077,9	0,0013	404,99	25,383
Juli	171.636,6	0,0013	399,63	55,833
Agustus	130.980,9	0,0013	395,38	43,066
Rata-Rata (%)				39,321

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat nilai *performance rate* mesin *exuder* pada bulan Januari sampai Agustus 2017. Informasi yang dapat diperoleh adalah nilai *performance rate* pada bulan Januari 2017. *Performance rate* merupakan suatu nilai dimana kinerja atau performa suatu mesin dalam beroperasi. *Performance rate* diperoleh sebesar 30,936%, artinya penggunaan waktu yang tersedia pada kegiatan mesin *exuder* sebesar 30,936%.

### Perhitungan Kualitas Output (*Quality*)

*Quality rate* merupakan salah satu parameter dalam mengukur nilai OEE, dimana dengan memperhatikan *total product processed* (kuantitas produk yang dihasilkan) dan *total scrap*. *Total scrap* terbagi menjadi dua, yaitu *reduced yield* dan *reject and rework*. Pengukuran *quality rate* pada mesin *exuder* selama bulan Januari sampai Agustus 2017 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengukuran Nilai *Quality Rate* Mesin *Exuder*

Bulan	Total Product Processed (Kg)	Quantity of Good Product (Kg)	QR (%)
Januari	98.872,4	98.809,6	99,936
Februari	73.812,8	73.492	99,565
Maret	154.203,2	154.022	99,882
April	173.365,2	173.144	99,872
Mei	83.422,5	83.345	99,907
Juni	79.077,9	78.852	99,714
Juli	171.636,6	171.559	99,954
Agustus	130.980,9	130.894	99,933
Rata-Rata (%)			99,845

Pada Tabel 6 ditunjukkan nilai *quality rate* mesin *exuder* pada bulan Januari sampai Agustus 2017. Informasi yang dapat diperoleh adalah nilai *quality rate* pada bulan Januari 2017. *Quality rate* merupakan suatu nilai dimana kualitas suatu mesin dalam beroperasi untuk dapat menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan kualitas atau spesifikasi perusahaan. *Quality rate* pada bulan Januari 2017 diperoleh sebesar 99,936%, artinya penggunaan waktu yang tersedia pada kegiatan mesin *exuder* sebesar 99,936%.

### Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE)

*Overall Equipment Effectiveness* (OEE) merupakan metode pengukuran efektivitas penggunaan suatu mesin yang digunakan selama proses produksi berlangsung. Setelah melakukan perhitungan *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate* dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada mesin *exuder* selama bulan Januari sampai Agustus 2017 pada Tabel 7.

Tabel 7. *Overall Equipment Effectiveness (OEE) Mesin Exuder*

Bulan	AR (%)	PR (%)	QR (%)	OEE (%)
Januari	96,561	30,936	99,936	29,852
Februari	93,650	24,689	99,565	23,049
Maret	91,669	52,694	99,882	48,247
April	95,865	55,316	99,872	52,960
Mei	99,623	26,653	99,907	25,196
Juni	95,291	25,383	99,714	24,118
Juli	95,15	55,833	99,954	53,100
Agustus	94,138	43,066	99,933	40,514
Rata-Rata (%)				37,129

Pada Tabel 7 ditunjukkan nilai *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* mesin *exuder* pada bulan Januari sampai Agustus 2017. Informasi yang dapat diperoleh adalah nilai *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* pada bulan Januari 2017 sebesar 29,852%, artinya efektivitas penggunaan mesin *exuder* digunakan selama proses produksi berlangsung sebesar 29,852%.

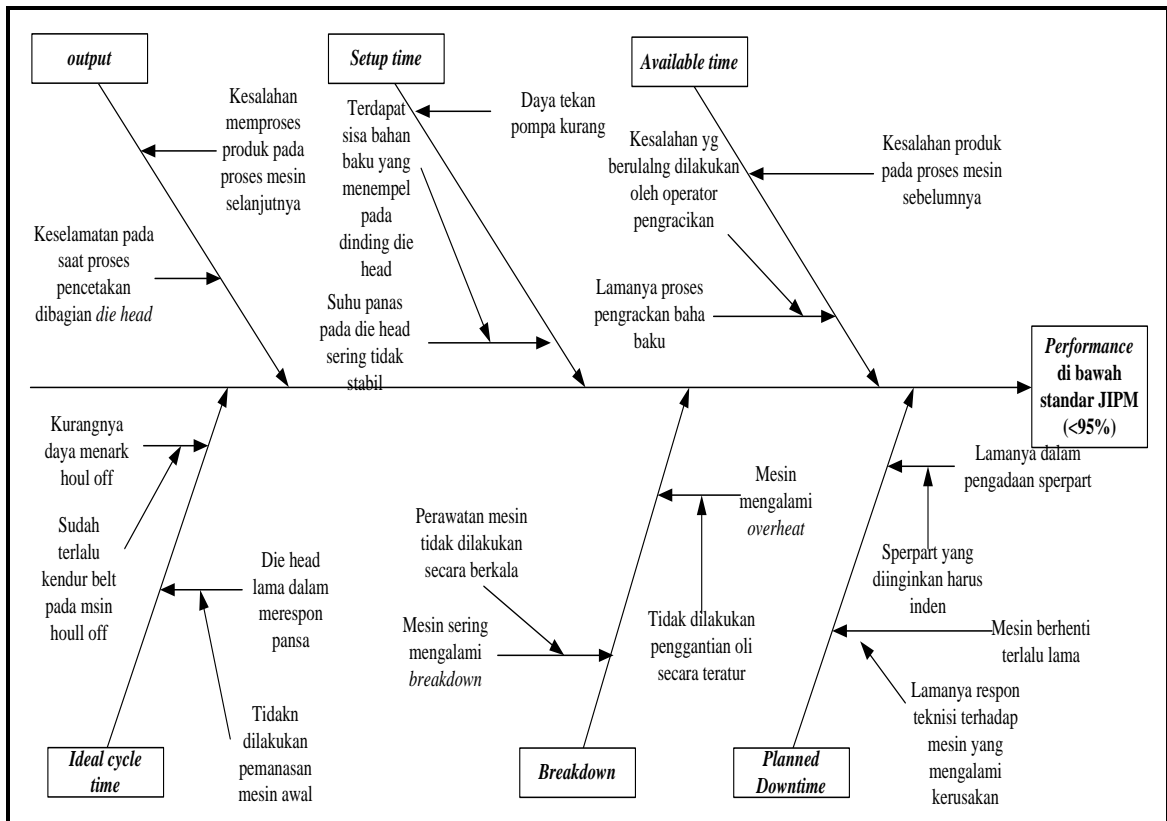
#### **Analisis Diagram Sebab Akibat**

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai persentase *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* pada mesin *exuder* masih di bawah standar JIPM sebesar 85%, maka dari itu dibuatlah analisis akar permasalahan berupa diagram sebab akibat. Diagram sebab akibat digunakan untuk mengetahui kemungkinan penyebab belum tercapainya persentase nilai OEE pada mesin *exuder*. Diagram sebab akibat dibuat berdasarkan permasalahan yang terjadi pada perusahaan. Akar permasalahan diperoleh dari data kerusakan mesin maupun

peralatan serta hasil wawancara oleh kepala bagian *Maintenance*. Berikut ini merupakan Gambar 2 diagram sebab akibat yang merupakan akar permasalahan tidak tercapainya nilai OEE.

#### **Usulan Perbaikan**

Usulan perbaikan ditujukan untuk dapat meningkatkan nilai OEE pada mesin *exuder*. Nilai OEE dapat ditingkatkan apabila *performance rate* dapat di atas standar JIPM sebesar 95% atau lebih. Berdasarkan diagram sebab akibat pada Gambar 2 enam faktor tersebut dibuat analisis menggunakan Tabel 5W (*what, who, where, when*) + 1H (*how*). Tujuan dilakukan analisis 5W + 1H adalah untuk mengetahui usulan perbaikan yang diperlukan untuk dapat menyelesaikan setiap permasalahan yang ada. Analisis 5W + 1H dibuat berdasarkan yang terjadi di perusahaan, sehingga usulan perbaikan diberikan berdasarkan data historis yang ada pada perusahaan serta yang terjadi langsung di lapangan kerja.



Gambar 2. Diagram Sebab Akibat

Usulan perbaikan meliputi bagian perawatan mesin, bagian manajemen pemasaran dan bagian pengadaan *spare part*. Bagian perawatan mesin hendaknya menjalankan perawatan pencegahan berdasarkan jadwal perawatan yang telah direncanakan serta membuat laporan diakhir kegiatan perawatan. Bagian pemasaran berusaha meningkatkan manajemen pemasaran untuk meningkatkan permintaan setiap periodenya sehingga mengurangi waktu mesin mengganggu. Bagian khusus dalam pengadaan *spare part* harus lebih aktif dalam pengadaan spare part agar tidak terlalu lama apabila terjadi masalah pada mesin yang diharuskan mengganti komponen mesin.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai OEE untuk mesin *exuder* diperoleh rata-rata sebesar 37,129% pada bulan Januari sampai Agustus 2017, dimana dengan aktivitas yang diukur pada indeks ketersediaan (*availability*) diperoleh rata-rata sebesar 94,618%, kinerja (*performance*) diperoleh rata-rata sebesar 39,321%, dan kualitas (*quality*) diperoleh rata-rata sebesar 99,845%. Usulan perbaikan adalah menjalankan perawatan pencegahan berdasarkan jadwal perawatan yang telah direncanakan serta membuat laporan diakhir kegiatan perawatan, meningkatkan manajemen pemasaran untuk dapat meningkatkan

permintaan setiap periodenya, sehingga mengurangi waktu mesin menganggur, serta bagian khusus dalam pengadaan spare part harus lebih aktif dalam pengadaan spare part agar tidak terlalu lama apabila terjadi masalah pada mesin yang diharuskan mengganti komponen mesin. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan terhadap mesin yang lain pada PT Pralon sehingga efisiensi kegiatan produksi lebih meningkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daryus, Diktat Kuliah, Topik: “Manajemen Pemeliharaan Mesin,” Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada, Jakarta, 2007.
- [2] Rahmad, Pratikto, dan S. Wahyudi, “Penerapan overall equipment effectiveness (OEE) dalam implementasi total productive maintenance (TPM),” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 3, no.3, hal. 431 – 437, 2012.
- [3] S. Nakajima, *Introduction to TPM Total Productive Maintenance*, Cambridge: Productivity Press, 1988.
- [4] A. Said dan J. Susetyo, “Analisis total productive maintenance pada lini produksi mesin perkakas guna memperbaiki kinerja perusahaan,” Dalam Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi, 2008, hal. 77 – 81.
- [5] M. I. Hariadi, “ Analisis kinerja mesin HGF C32MT dengan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan usulan perbaikannya menggunakan fishbone diagram pada pabrik gula Ngadiredjo,” Skripsi, Universitas Airlangga, Surabaya, 2012.
- [6] Hermanto, “Analisis kinerja mesin GF FSSZ 65/132 B dengan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) di PT PRN,” *Journal Industrial Manufacturing*, vol. 3, no. 2, hal. 15 – 22, 2018.
- [7] A. N. Fauzi, “Analisa total productive maintenance pada mesin machining center pada PT. Hitachi Power System Indonesia (HPSI) dengan menggunakan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE),” Skripsi, Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2015.

# PROTOTIPE SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR BERBASIS PLC OMRON DAN ARDUINO UNO SEBAGAI SMS GATEWAY

<sup>1</sup>Arif Hernowo, <sup>2</sup>Setiyono, <sup>3</sup>Sandy Suryo Prayogo

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma,

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat

<sup>1</sup>arifhernowo@student.gunadarma.ac.id, <sup>2</sup>setiyono@staff.gunadarma.ac.id,

<sup>3</sup>sandy\_sr@staff.gunadarma.ac.id,

## Abstrak

Banjir merupakan permasalahan yang terjadi akibat dari volume air yang berlebih pada sungai yang dipengaruhi oleh aktifitas manusia yang tidak ramah terhadap lingkungan. Banjir memiliki dampak negatif yang cukup banyak salah satunya adalah rusaknya sarana dan prasarana masyarakat. Kesiagaan masyarakat cukup penting diperlukan untuk mengurangi dampak negatif dari banjir tersebut. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan merancang suatu sistem simulasi peringatan dini banjir sebagai alat dalam mendeteksi ketinggian air sebelum terjadi datangnya bahaya banjir. Penelitian ini bertujuan untuk membuat prototipe sistem peringatan dini bencana banjir yang mudah dioperasikan dan efektif untuk mendeteksi datangnya banjir. Pada protipe terdapat sensor level switch yang mampu mendeteksi pergerakan tinggi permukaan air pada daerah aliran sungai. Data hasil pengukuran tersebut akan diolah menggunakan PLC Omron sebagai pusat pengolahan data. Hasil olah data selanjutnya dikirim ke Arduino Uno untuk mengirim pesan kepada pengguna menggunakan modul GSM SIM800L V.2. Jika permukaan air mencapai ketinggian yang telah ditentukan, maka alarm buzzer berbunyi dan lampu LED menyala. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon sensor banjir dengan alarm peringatan sangat cepat yaitu kurang dari 3 detik. Waktu pesan SMS hingga sampai pada ponsel penerima relatif cepat yaitu dibawah 15 detik.

**Kata Kunci:** Arduino uno, banjir, GSM SIM 800L, PLC Omron, sensor level switch, sistem peringatan dini

## Abstract

Flooding is a problem that occurs as a result of excess water volume in the river which is influenced by human activities that are not friendly to the environment. Floods have quite a number of negative impacts, one of which is the destruction of community facilities and infrastructure. Community preparedness is important enough to reduce the negative impact of the flood. One solution that can be done is to design a flood early warning simulation system as a tool in detecting water levels before flood danger occurs. This study aims to make a prototype of a flood early warning system that is easy to operate and effective for detecting floods. In the prototype there is a level switch sensor that is able to detect movement of water level in the watershed. The measurement data will be processed using Omron PLC as a data processing center. The results of data processing are then sent to Arduino Uno to send messages to users using the GSM SIM800L V.2 module. If the water level reaches a predetermined height, the buzzer alarm sounds and the LED lights up. The test results show that the response of flood sensors with a very fast warning alarm is less than 3 seconds. The time of the SMS message to arrive at the recipient's cellphone is relatively fast, namely under 15 seconds.

**Keywords:** Arduino uno, early warning system, flooding, GSM SIM 800L, Omron PLC, sensor level switch



## PENDAHULUAN

Zaman sekarang ini banyak sekali terjadi bencana alam antara lain banjir, gempa, tsunami dan lain- lain. Penyebab bencana alam tersebut dapat terjadi kapan saja dan dimana saja. Terjadinya bencana alam dapat disebabkan banyak faktor, faktor alam atau faktor manusia itu sendiri. Semua penyebab bencana alam tersebut selalu datang secara tiba-tiba tanpa bisa diprediksikan waktu dan tempatnya. Hal inilah yang membuat masyarakat kesulitan menghindar dari bencana alam.

Banjir merupakan bencana alam yang sering terjadi pada musim hujan dan diakibatkan oleh air sungai yang meluap karena banyaknya sampah dan pendangkalan sungai. Banjir sering terjadi di daerah sekitar aliran air sungai, namun daerah yang terkena dampak paling parah akibat banjir adalah di daerah hilir sungai atau di daerah bantaran sungai. Banjir yang terjadi berpotensi merusak dan merugikan kehidupan masyarakat dalam hal materil bahkan menelan korban jiwa.

Banjir menjadi permasalahan bila sudah mengganggu aktivitas kehidupan manusia bahkan mengancam keselamatan dirinya. Banjir tentu dapat diminimalisir dengan membangun lingkungan yang baik. Diantaranya adalah memperbaiki irigasi, menambah titik- titik serapan air, memperdalam dan memperluas sungai. Namun kadang kala proses pembangunan untuk mengatasi banjir tidak dapat dilakukan secara instan dan

permasalahan banjir belum dapat diselesaikan secara tuntas.

Kerugian yang ditimbulkan dari bencana banjir tentu saja dapat dihindari jika masyarakat mendapatkan peringatan akan datangnya bencana banjir. Dengan adanya peringatan, masyarakat dapat melakukan evakuasi sebelum bencana banjir datang dan dapat memantau mengenai status permukaan air saat itu. Sehingga ketika terjadi banjir maka level ketinggian air akan naik secara bertahap yang dimana ketika ketinggian air mencapai batas yang ditentukan oleh alat maka peringatan akan muncul berupa layanan SMS dan dilengkapi dengan alarm yang akan berbunyi jika alat mendeteksi banjir. Jadi ketika alat mendeteksi adanya bahaya banjir maka masyarakat dapat menerima pesan melalui SMS yang berisi peringatan tingkat ketinggian air.

Pada penelitian terdahulu telah dibuat sistem peringatan dini banjir berbasis SMS *gateway* dan mikrokontroler Arduino Uno yang difokuskan pada perancangan sistem peringatan dini berbasis SMS *gateway*. Prototipe sistem peringatan dini dibangun menggunakan ultrasonik yang diletakkan pada pipa paralon sebagai input data ketinggian air, mikrokontroler Arduino Uno sebagai pemroses data ketinggian air dan Modem GSM Wavecom sebagai output pengirim Informasi banjir melalui SMS. Data *input* diperoleh menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air [1].

Penelitian lain mengenai sistem pendeteksi banjir peringatan dini juga dibangun dengan menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler yang mengendalikan sensor ultrasonik dan sensor pendeteksi air dalam mendeteksi air (kemungkinan banjir) serta ketinggiannya. Pesan pendek akan dikirim oleh sistem dan SMS *gateway* yang tergantung dari tangkapan sensor air dan ketinggian air yang diperoleh menggunakan sensor ultrasonik. Hasil dari penelitian ini adalah terbangunnya sebuah sistem pendeteksi peringatan dini banjir Kota Samarinda menggunakan sensor ultrasonik berbasis mikrokontroler dengan *buzzer* dan SMS. Sistem ini diharapkan mampu memudahkan pengguna untuk mengetahui keadaan luapan air melalui tiga jenis pesan pendek yaitu status aman, siaga, dan bahaya. Setiap ketinggian air berubah maka sistem merespon dengan mengirim pesan yang sesuai [2].

Sistem deteksi banjir yang bekerja secara otomatis dengan cara mengetahui ketinggian (level) permukaan air juga telah dibuat. Sistem pemantauan ketinggian permukaan air ini dilakukan dengan mengimplementasikan sensor ultrasonik berbasis mikrokontroler yang akan mengetahui ketinggian permukaan air yang di-buat pada level-level tertentu. Apabila ketinggian air mencapai batas tertentu sistem akan membunyikan *buzzer* yang akan memberikan peringatan kepada sekitarnya. Sistem ini terhubung dengan LCD yang akan menampilkan data ketinggian air dan

ditampilkan secara *realtime* pada komputer. Perbedaan dengan penelitian ini adalah dengan alat dibuat masih menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air yang memiliki tingkat akurasi yang rendah dan rentan rusak [3]. Berdasarkan latar belakang mengenai pentingnya antisipasi atau siaga banjir maka tujuan penelitian ini adalah membuat suatu prototipe sistem peringatan dini banjir berbasis PLC omron dan Arduino Uno sebagai SMS *gateway*.

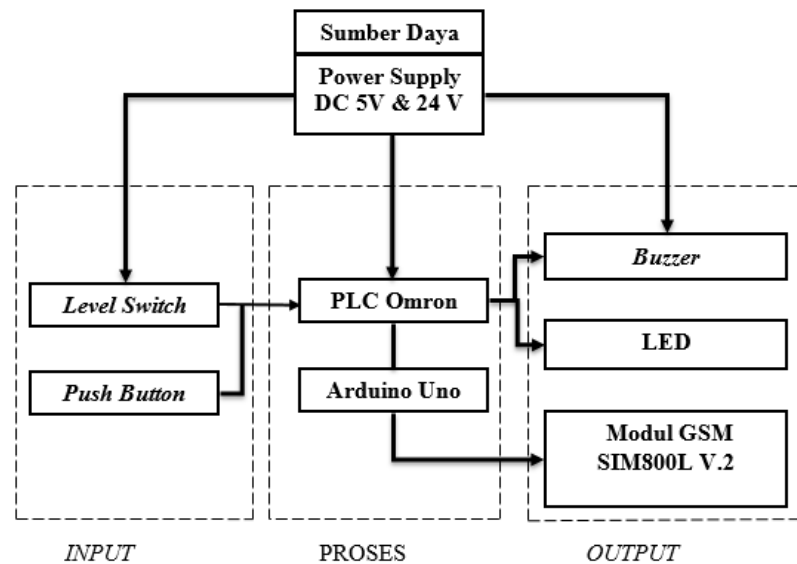
## METODE PENELITIAN

Konsep perancangan alat ini mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen yang digunakan pada sistem ini adalah *level switch* dan *push button* sebagai *input*. PLC Omron dan Arduino Uno sebagai pengontrol sistem kerja alat pada bagian proses. Modul GSM SIM800L, *buzzer*, dan LED sebagai *output*. Setiap blok memiliki fungsi yang berbeda namun saling berinteraksi untuk dapat bekerja dengan baik.

Pada Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa pada blok *input* terdapat sensor air yang dirancang menggunakan *level switch* dan *push button*. *Level switch* pada alat ini digunakan sebagai pendeteksi setiap *level* ketinggian air. Alat ini menggunakan tiga buah sensor *level switch* yang diletakkan pada ketinggian yang berbeda-beda yang menandakan ada tiga level ketinggian aktivitas air. *Push button* digunakan untuk

memberi kondisi untuk mematikan LED pada saat terjadi kerusakan pada sensor air yang

ditandai dengan berkedipnya lampu LED terus menerus.



Gambar 1. Blok Diagram

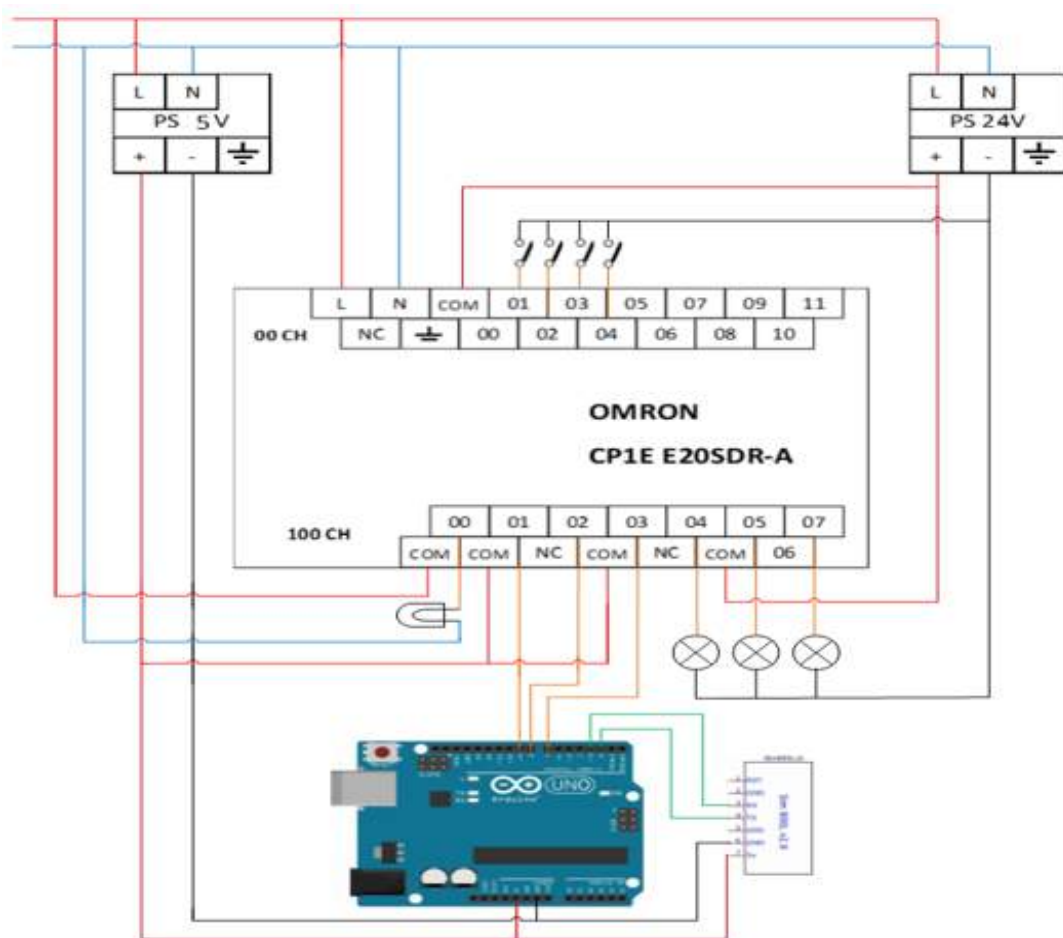
Bagian blok proses terdapat PLC Omron dan Arduino Uno. PLC Omron sebagai kontrol memiliki pemrograman agar proses dapat berjalan dengan baik. PLC berfungsi sebagai pengendali *push button* dan *level switch* [4,5]. Ketika *push button* ditekan dan *level switch* terkena air maka tegangan 24Vdc akan mengalir menuju PLC dan proses dapat dimulai. Setelah PLC mendapatkan tegangan 24Vdc pada pin *input* dari *push button* dan *level switch*, maka PLC akan mengaktifkan tegangan 5Vdc pada pin *output* PLC untuk dikirim ke pin digital Arduino Uno. Arduino Uno berfungsi untuk mengelola data yang diterima dengan cara mencocokkan data dari *output* PLC dengan data yang sudah dibuat pada Arduino Uno. Setelah data diterima oleh Arduino Uno, maka selanjutnya akan diteruskan menuju modul SMS

*gateway* yang akan membaca perintah berupa mengirim SMS ke telepon seluler.

*Output* yang digunakan adalah SIM800L, LED dan *buzzer* yang akan dikendalikan dan diaktifkan dari hasil pemrosesan dari blok proses. Hasil pemrosesan ini akan menentukan kondisi *output*. Modul SMS SIM800L berfungsi sebagai pengirim sebuah pesan setiap kondisi yang terjadi pada sensor air mulai dari aman sampai bahaya. LED digunakan sebagai penanda secara visual atau indikasi bekerjanya suatu sistem kontrol. Indikator berupa sebuah lampu berwarna hijau, kuning dan merah yang menyala ketika diberi tegangan 24 volt DC. Lampu indikator hijau menyala menandakan bahwa kondisi ketinggian air berada pada level 1. Lampu indikator kuning menyala menandakan bahwa kondisi ketinggian air berada pada level 2.

Lampu indikator merah menyala menandakan bahwa kondisi ketinggian air berada pada level 3. *Buzzer* digunakan sebagai alarm untuk menandakan terjadinya peningkatan ketinggian air. Pada level siaga *buzzer* akan berbunyi setiap lima detik sekali, pada level waspada *buzzer* akan berbunyi setiap tiga detik sekali dan pada level bahaya *buzzer* akan berbunyi setiap satu detik sekali.

Rangkaian dari prototipe sistem peringatan dini banjir menggunakan SMS gateway berbasis PLC omron yang menggunakan komponen berupa level switch, PLC, Arduino, SIM800L, indikator LED, *buzzer*. Rangkaian keseluruhan prototipe sistem peringatan dini banjir menggunakan SMS gateway berbasis PLC Omron dan Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Keseluruhan Prototipe Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis PLC Omron dan Arduino Uno Sebagai SMS Gateway

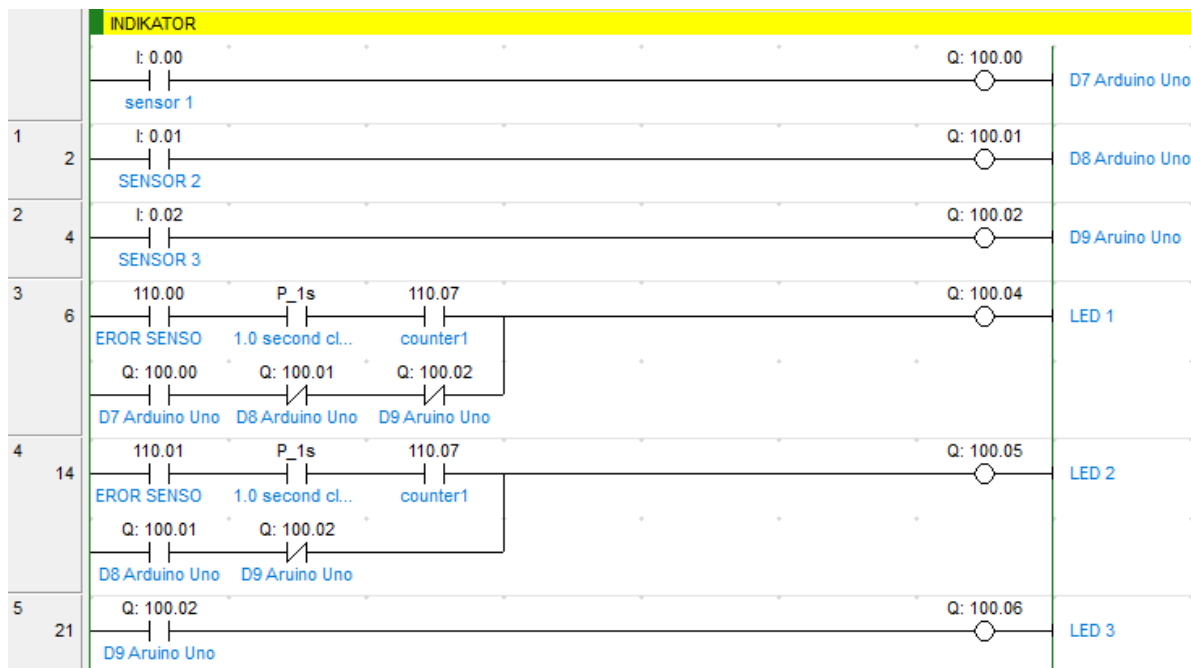
Pada bagian atas merupakan bagian *input* dari PLC yang memiliki 12 *channel input* yang terhubung dengan tegangan AC 220V

pada L1 dan L2N serta tegangan DC +24V. *Input* yang terpasang yaitu 3 buah sensor *level switch* dan 1 *push button*. Kemudian pada

bagian bawah PLC merupakan bagian dari *output* PLC yang memiliki 8 *channel output* yang terhubung pada tegangan 220Vac, +24Vdc dan +5Vdc. *Output* yang terpasang yaitu 3 buah pin PLC yg terhubung dengan pin digital Arduino, 3 buah lampu indikator dan 1 *buzzer*.

Pada Gambar 2 yang ditampilkan terdapat Arduino Uno yang didalamnya sudah terdapat mikrokontroler ATmega 328P yang berfungsi sebagai pengontrol modul SIM800L.

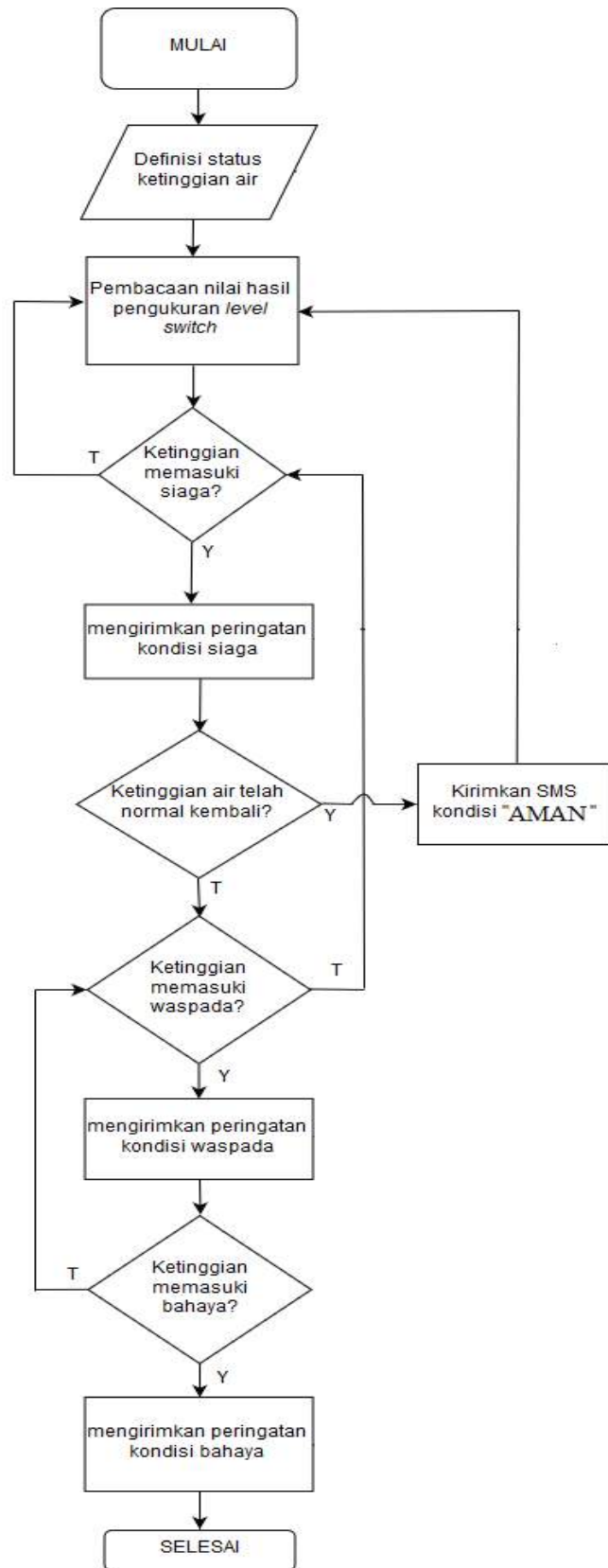
Pada modul SIM800L terdapat pin 5V, Rx, Tx dan GND yang terhubung dengan pin 5V, 3 digital, 2 digital dan GND. Pin 2 dan pin 3 merupakan *external interrupt* yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah *interrupt* pada saat terjadi perubahan nilai ketika program utama berjalan sesuai dengan algoritma yang diberikan. Pin 7, 8 dan 9 digital dihubungkan ke *output* PLC sebagai penerima kondisi yang telah diproses pada PLC.



Gambar 3. Ladder Diagram Program Indikator

Pada proses pembuatan alat terdapat sebuah *ladder diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. *Ladder diagram* adalah sebuah bahasa pemrograman gambar diturunkan dari diagram rangkaian pengawatan kontrol *relay* secara langsung. *Ladder diagram* terdiri dari susunan kontak-kontak yang disusun dari sebelah kiri ke kanan pada diagram, kontak-kontak ini disambungkan ke

elemen-elemen pensakelaran (kontak NO/NC) melalui jalur arus dan elemen koil. Diagram ini dikembangkan dari kontak-kontak *relay* yang terstruktur yang menggambarkan aliran arus listrik. *Ladder diagram* ini terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain *ladder diagram indicator*, *ladder diagram time buzzer* dan *ladder diagram kondisi error*.



Gambar 4. Flowchart Sistem

*Flowchart* atau diagram alur adalah sebuah jenis diagram yang mewakili algoritma, alur kerja atau proses, yang menampilkan langkah-langkah dalam bentuk jenis-jenis persegi, dan urutannya dihubungkan dengan panah. *Flowchart* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 adalah penggambaran urutan satu proses yang berhubungan dengan proses yang lainnya pada alat ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisa dilakukan pada prototipe sistem peringatan dini banjir berbasis PLC Omron dan Arduino Uno sebagai SMS *Gateway*. Gambar prototipe alat tersebut

dapat dilihat pada Gambar 5.

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat berfungsi secara efektif dan dapat menghasilkan keluaran sebagaimana yang diharapkan. Pengujian pertama dilakukan dengan menguji *input* berupa pengujian tegangan sensor air *level switch* ketika aktif atau mati dan pengujian tegangan pada *push button* ketika ditekan atau tidak. Pengujian pada bagian proses dilakukan dengan cara mengukur tegangan kerja masukan PLC. Pada bagian *output* pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan pada LED ketika aktif atau mati, serta mengukur tegangan *output* PLC yang terhubung dengan pin digital Arduino Uno dan bunyi *buzzer*.



Gambar 5. Protipe Alat

Pengujian cek status ini dilakukan dengan cara mengirimkan pesan singkat berupa “status” dari *handphone* ke modul SMS apabila pengguna nomor telepon yang

sudah ada didalam program ingin mengetahui kondisi terakhir ketinggian air. Hasil pengujian cek status dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

```

COM3 (Arduino/Genuino Uno)

GSM Shield testing.
DB:ELSE
DB:ELSE
DB:ELSE
DB:CORRECT BR

status=READY
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

SMS sent OK
0 0 0 AMAN
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

0 0 0
0 0 0 06285780673110
status
Cek status

0 0 0 AMAN
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

1 0 0 SIAGA BANJIR
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

1 0 0 06285780673110
status
Cek status

1 0 0 SIAGA BANJIR
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

1 1 0 WASPADA BANJIR
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

1 1 1
1 1 1 06285780673110
status
Cek status

1 1 1 BAHAYA BANJIR
DEBUG:SMS TEST
DEBUG:>

1 1 1
1 1 1
1 1 1

```

Gambar 6. Tampilan Serial Monitor pada Arduino Uno



Gambar 7. Tampilan Isi Pesan pada Handphone



Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat ketika *handphone* mengirim pesan yang berisi "status" maka secara otomatis *handphone* akan mendapatkan SMS balasan berupa status terakhir yang jadi pada sensor air.

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat pada kotak kuning merupakan SMS yang masuk atau diterima oleh modul SMS dari *handphone* dan modul SMS akan mengirim pesan kembali ke *handphone*.

Tabel 1. Pengujian Sistem

No.	Ketinggian Air (cm)	Output		
		LED	Buzzer	SMS
1	0 – 5 cm	Mati	Mati	Aman
2	5 – 10 cm	Hijau	Nyala 5 detik	Siaga Banjir
3	10 – 15 cm	Kuning	Nyala 3 detik	Waspada Banjir
4	>15 cm	Merah	Nyala 1 detik	Bahaya Banjir

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem peringatan dini bencana banjir secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan memasang sistem peringatan dini bencana banjir ini ditempat wadah pengujian dalam beberapa waktu untuk memantau kondisi ketinggian ketinggian air dengan menyesuaikan dengan aspek pengujian. Pengujian dilakukan dengan cara mengamati ketinggian air, lampu LED, *buzzer* dan isi SMS.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Prototipe sistem peringatan dini banjir berbasis PLC Omron dan Arduino Uno sebagai SMS *gateway* telah berhasil dibuat dan dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Alat ini menggunakan beberapa komponen pendukung yang terintegrasi yaitu sensor air *level switch* yang diletakkan pada wadah sebagai *input* data ketinggian air. PLC Omron sebagai pemroses data ketinggian air

dan modem GSM sebagai *output* pengirim informasi banjir melalui SMS. Berdasarkan proses implementasi, pengujian alat dan evaluasi pada alat peringatan dini bahaya banjir dapat ditarik hal penting yaitu, alat ini hanya akan mengirim SMS ke nomor ponsel yang telah disetting pada program, sehingga untuk mengubah nomor tujuan harus memprogram ulang.

Respon sensor banjir dengan alarm peringatan sangat cepat, kurang dari 3 detik. Waktu pesan SMS hingga sampai pada ponsel penerima relatif cepat yaitu dibawah 15 detik. Durasi pengiriman SMS sangat dipengaruhi dari kualitas *provider* yang digunakan. Sistem ini dilengkapi dengan pengecekan status apabila pengguna ingin mengecek status ketinggian air. Berdasarkan beberapa keunggulan diatas diharapkan alat ini sebagai sumbangsih teknologi dalam penanganan peringatan dini terhadap bahaya banjir.

Pengujian yang didapat maka memungkinkan untuk dilakukan pengembangan

lebih lanjut, diantaranya adalah untuk dikembangkan lagi dengan program visual. Apabila ingin mengganti nomor tujuan tinggal dimasukkan nomor tujuan melalui *keypad* dan akan secara otomatis akan disimpan menggunakan *hardware* yang mendukung tanpa harus dihubungkan ke dalam komputer lagi. Jika ingin diletakkan pada tempat yang sebenarnya dibutuhkan pelindung alat yang terbuat dari bahan yang tidak mudah rusak terkena air. Diharapkan adanya percobaan dan penelitian lebih untuk prototipe sistem peringatan dini banjir berbasis PLC Omron dan Arduino Uno sebagai SMS *gateway* yang belum ada dalam penelitian ini sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan bentuk penanganan yang lebih kompleks lagi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Satria, S. Yana, R. Munadi, dan S. Syahreza, "Sistem peringatan dini banjir berbasis SMS gateway dan mikrokontroler Arduino Uno," Dalam Prosiding Seminar Nasional II Kemaritiman Aceh Universitas Serambi Mekkah, 2017, hal. 78 – 82.
- [2] I. F. Astuti, A. N. Manoppo, dan Z. Arifin, "Sistem peringatan dini bahaya banjir kota Samarinda menggunakan sensor ultrasonic berbasis mikrokontroler dengan buzzer dan SMS," *Jurnal SEBATIK STMIK Widya Cipta Dharma*, vol. 22, no. 1, hal. 30 – 34, 2018.
- [3] C. Umari, E. Anggraini, dan R. Z. Muttaqin, "Rancang bangun sistem peringatan dini banjir berbasis sensor ultrasonik dan mikrokontroler sebagai upaya penanggulangan banjir," *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 4, no. 2, hal. 35 – 42, 2017.
- [4] I. Setiawan, *Progammable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta: Andi Offset, 2006.
- [5] R. Hidayat, "Sistem tower crane berbasis PLC (Programmable Logic Controller) Omron CPM1A 20 CDR D V1," *Skripsi*, Universitas Gunadarma, Depok, 2017.

# PERENCANAAN JUMLAH PRODUKSI BUBUK CABAI DENGAN METODE FUZZY MAMDANI BERDASARKAN PERKIRAAAN PERMINTAAN PADA PT GANESHA ABADITAMA

**Intan Puspita Sari**

*Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat  
intan\_puspita.sari15@yahoo.com*

## **Abstrak**

*PT Ganesha Abaditama merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam proses pengolahan rempah-rempah dan bumbu dengan salah satu produk yang dihasilkan ialah bubuk cabai. PT Ganesha Abaditama mengalami suatu permasalahan dalam menentukan jumlah produksi, dikarenakan suatu ketidakpastian jumlah permintaan disetiap periode waktunya. Oleh karena itu, perencanaan jumlah produksi pada perusahaan tersebut sangat diperlukan. Pada penelitian ini perencanaan jumlah produksi bubuk cabai dilakukan berdasarkan perkiraan permintaan dan jumlah persediaan pada PT Ganesha Abaditama. Metode yang digunakan untuk menentukan jumlah produksi bubuk cabai ialah dengan menerapkan metode fuzzy mamdani. Berdasarkan hasil penelitian maka untuk dapat mengetahui berapa jumlah produk bubuk cabai yang harus diproduksi perusahaan, terlebih dahulu melakukan suatu perhitungan peramalan permintaan dari data historis dalam kurun waktu 12 bulan terakhir dengan menggunakan beberapa metode kuantitatif dengan time series. Penentuan jumlah produksi untuk periode berikutnya menggunakan data peramalan permintaan serta data persediaan. Jumlah permintaan produk bubuk cabai bulan Juli 2017 sebesar 7.228,137 kg, dengan jumlah persediaan produk cabai pada bulan atau periode sebelumnya Juni 2017 sebesar 10.656 kg sehingga jumlah produksi produk bubuk cabai dengan menggunakan metode fuzzy mamdani ialah sebesar 6.190 kg.*

**Kata Kunci:** *Bubuk cabai, jumlah produksi, metode fuzzy mamdani*

## **Abstract**

*PT Ganesha Abaditama is one of the companies engaged in the processing of spices and seasonings with one of the products produced is chili powder. PT Ganesha Abaditama experienced a problem in determining the amount of production, due to an uncertain amount of demand in each time period. Therefore, planning the amount of production at the company is very necessary. In this study planning the amount of chilli powder production is based on the estimated demand and the amount of inventory at PT Ganesha Abaditama. The method used to determine the amount of chili powder production is by applying the fuzzy mamdani method. Based on the results of the study, in order to find out how many chilli powder products the company must produce, first make a demand forecast calculation from historical data in the past 12 months using several quantitative methods with time series. Determination of the amount of production for the next period using demand forecasting data and inventory data. The total demand for chilli powder products in July 2017 was 7,228,137 kg, with the total inventory of chili products in the previous month or period June 2017 amounting to 10,656 kg so that the total production of chili powder products using the fuzzy mamdani method was 6,190 kg.*

**Keywords:** *chili powder, fuzzy mamdani method, total product*

## PENDAHULUAN

Kegiatan produksi bagi perusahaan merupakan tantangan tersendiri terutama dalam hal jumlah barang yang diproduksi. Harapan besar perusahaan adalah dapat memproduksi suatu produk dalam waktu dan jumlah yang sesuai dengan permintaan konsumen. Namun, pada kenyataannya untuk menentukan jumlah produksi dalam waktu dan jumlah yang sesuai diwaktu yang akan datang tidaklah mudah. Hal tersebut dikarenakan adanya faktor yang terlibat dalam perhitungan yang menjadi kendala dalam pengambilan keputusan untuk dapat menentukan berapa jumlah produk yang akan diproduksi. Faktor yang menjadi kendala diantaranya ialah jumlah permintaan untuk periode berikutnya dan jumlah persediaan.

PT Ganesha Abaditama merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam proses pengolahan rempah-rempah dan bumbu dengan salah satu produk yang dihasilkan ialah bubuk cabai. PT Ganesha Abaditama mengalami suatu permasalahan dalam pengambilan keputusan untuk menentukan banyaknya produk bubuk cabai yang harus diproduksi. Kesulitan perusahaan dalam memprediksi jumlah produksi tersebut dikarenakan suatu ketidakpastian jumlah permintaan disetiap periode waktunya.

Permasalahan yang muncul apabila jumlah produksi yang dihasilkan perusahaan kurang dari jumlah permintaan adalah tidak terpenuhinya jumlah permintaan konsumen. Apabila jumlah produksi yang dihasilkan

perusahaan lebih banyak daripada jumlah permintaan maka akan mengakibatkan penumpukan jumlah produk dan kemungkinan akan terjadi penurunan kualitas produk. Penentuan jumlah produksi menjadi permasalahan penting dan mengandung ketidakpastian karena terkait masa yang akan datang. Pengambilan keputusan terkait waktu yang akan datang memerlukan peramalan yang didefinisikan sebagai pemikiran terhadap besaran, misalnya permintaan terhadap satu atau beberapa produk pada periode yang akan datang [1].

Pentingnya penentuan jumlah produksi di masa yang akan datang memotivasi berkembangnya metode-metode untuk meramalkan jumlah produksi. Penelitian terdahulu mengenai peramalan jumlah produksi salah satunya adalah perencanaan penentuan jumlah produksi mie instan dengan metode fuzzy mamdani telah sukses diterapkan [2]. Penelitian lain juga dilakukan untuk merencanakan terpenuhinya permintaan dengan mengoptimalkan biaya rencana produksi menggunakan beberapa metode peramalan [3]. Metode *goal programming* juga digunakan dalam optimasi perencanaan produksi. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi produk hasil optimasi *goal programming* ternyata lebih menguntungkan dibanding dengan yang telah dilakukan perusahaan sebelumnya [4]. Perencanaan pengambilan keputusan perusahaan dalam menentukan jumlah produk pada satu periode selanjutnya dipengaruhi oleh sisa persediaan dari satu periode sebelumnya dan juga perkiraan jumlah permintaan pada satu

periode selanjutnya. Kedua faktor tersebut mengandung suatu ketidakpastian sehingga digunakan logika Fuzzy untuk menganalisis hal tersebut [5].

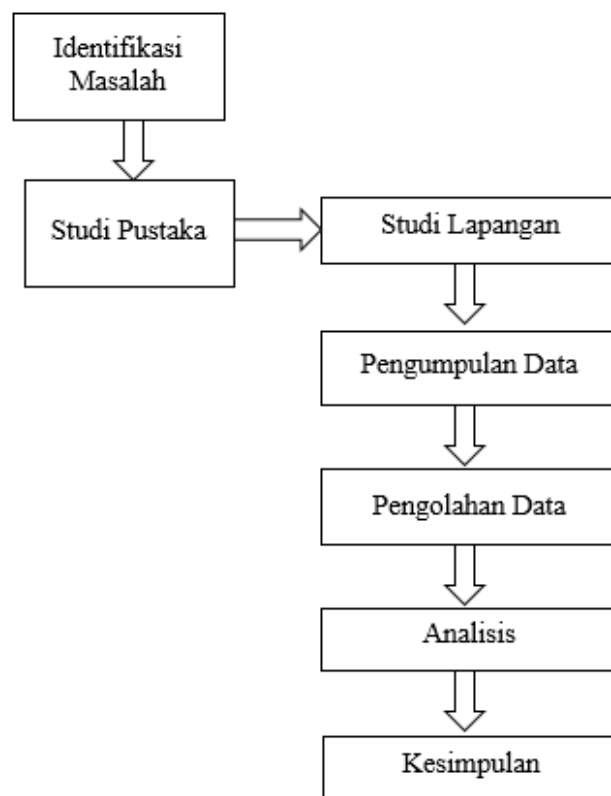
Salah satu cara yang bisa digunakan untuk membantu dalam menentukan jumlah produksi bubuk cabai ialah dengan menerapkan logika fuzzy. Logika fuzzy merupakan salah satu aplikasi yang dapat membantu manusia dalam pengambilan suatu keputusan. Selain itu, alasan penerapan logika fuzzy lainnya ialah logika fuzzy mudah dimengerti, hal tersebut dikarenakan logika fuzzy menggunakan konsep matematis sederhana dengan bahasa alami, fleksibel, memiliki suatu toleransi terhadap data-data yang tidak tepat atau tidak pasti, serta dapat memodelkan suatu fungsi

non-linier yang sangat kompleks.

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah membuat perencanaan jumlah produksi bubuk cabai berdasarkan berdasarkan perkiraan permintaan dan jumlah persediaan pada PT Ganesha Abaditama. Hal ini dilakukan agar dapat membantu perusahaan khususnya PT Ganesha Abaditama dalam menentukan jumlah produk bubuk cabai yang harus diproduksi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah fuzzy mamdani.

## METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-Langkah Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, langkah awal dilakukan ialah identifikasi masalah yang terjadi didalam perusahaan. Masalah yang terjadi di perusahaan adalah belum dapat memprediksi berapa jumlah produksi cabai untuk periode atau bulan berikutnya berdasarkan data jumlah persediaan dan data jumlah permintaan produk. Langkah selanjutnya ialah studi pustaka untuk memperoleh informasi tentang pembahasan yang berkaitan dengan masalah atau penelitian yang dilakukan. Untuk mendukung penyelesaian masalah maka langkah penting yang harus dilakukan adalah studi lapangan untuk memperoleh informasi kondisi nyata pada perusahaan.

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan wawancara untuk dapat mengetahui alur perencanaan jumlah produksi perusahaan. Data sekunder dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung untuk memperoleh data historis jumlah permintaan dan jumlah produksi. Data historis tersebut dimulai dari bulan Juli 2016 hingga Juni 2017.

Proses pengolahan data yang dilakukan untuk menentukan jumlah produksi produk cabai terdiri dari dua proses. Proses pertama ialah peramalan permintaan yang dilakukan untuk dapat mengetahui berapa jumlah permintaan produk bubuk cabai pada periode atau bulan berikutnya. Proses perhitungan peramalan permintaan ini menggunakan bantuan software POM-QM. Langkah awal yang dilakukan dalam proses peramalan

permintaan ialah mengetahui pola data permintaan. Proses penentuan pola data permintaan tersebut dilakukan dengan cara mem-plot data permintaan dalam satu tahun terakhir ke dalam software Microsoft Excel dan kemudian menyimpulkan apakah data dalam kurun waktu satu tahun terakhir tersebut berpola data historis, trend, siklis, atau musiman. Proses peramalan peramalan permintaan dilakukan menggunakan metode kuantitatif dengan *time series*. Metode kuantitatif tersebut terdiri dari metode rata-rata bergerak dengan bobot (WMA), metode pemulusan eksponensial (EX), dan metode regresi. Perhitungan akurasi hasil peramalan terdiri dari MAD (*Mean Absolute Deviation*), MSE (*Mean Square Error*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Hasil akurasi peramalan selanjutnya digunakan untuk menentukan metode peramalan kuantitatif yang sesuai.

Proses kedua yang dilakukan dalam pengolahan data ialah perhitungan perencanaan jumlah produksi. Perhitungan perencanaan jumlah produksi ini menggunakan metode fuzzy mamdani, dimana dalam proses pengolahannya dibantu oleh software MATLAB. Langkah awal yang dilakukan dalam perencanaan jumlah produksi dengan menggunakan metode fuzzy mamdani adalah menentukan variabel dan semesta pembicaraan. Terdapat tiga variabel yaitu variabel permintaan dan persediaan sebagai input variabel, serta variabel jumlah produksi sebagai output variabel. Pembentukan himpunan fuzzy pada

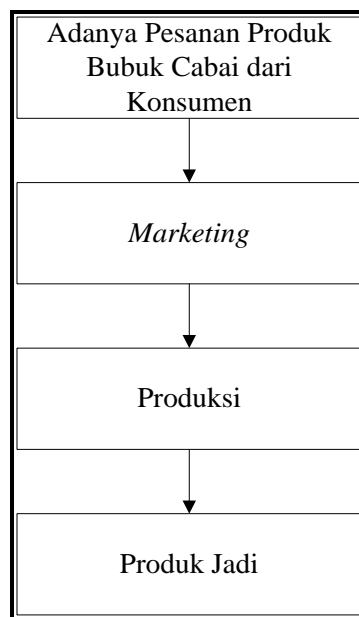
metode mamdani baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Langkah selanjutnya adalah aplikasi fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN, yang artinya mengambil derajat keanggotan yang paling rendah dari setiap aturan yang ada. Pembentukan aturan logika fuzzy ini berasal dari kumpulan atau korelasi antar variabel *input* dan variabel *output* yang dilanjutkan dengan penegasan atau defuzzifikasi.

Hasil pengolahan data berupa hasil peramalan permintaan hingga hasil rencana jumlah produksi untuk periode berikutnya selanjutnya dianalisis. Selain itu dilakukan

juga proses analisis perbandingan antara hasil jumlah produksi berdasarkan metode fuzzy mamdani dengan jumlah produksi perusahaan. Langkah terakhir yang dilakukan dalam penelitian adalah penarikan kesimpulan dan saran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengumpulan data dilakukan pada PT Ganesha Abaditama. Hasil wawancara dengan pihak perusahaan berupa alir perencanaan penentuan jumlah produksi bubuk cabai yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Penentuan Jumlah Produksi Produk Bubuk Cabai PT Ganesha Abaditama

Pada Gambar 2, bubuk cabai diproduksi sesuai dengan pesanan dari konsumen melalui phak marketing. Studi lapangan juga menghasilkan data historis

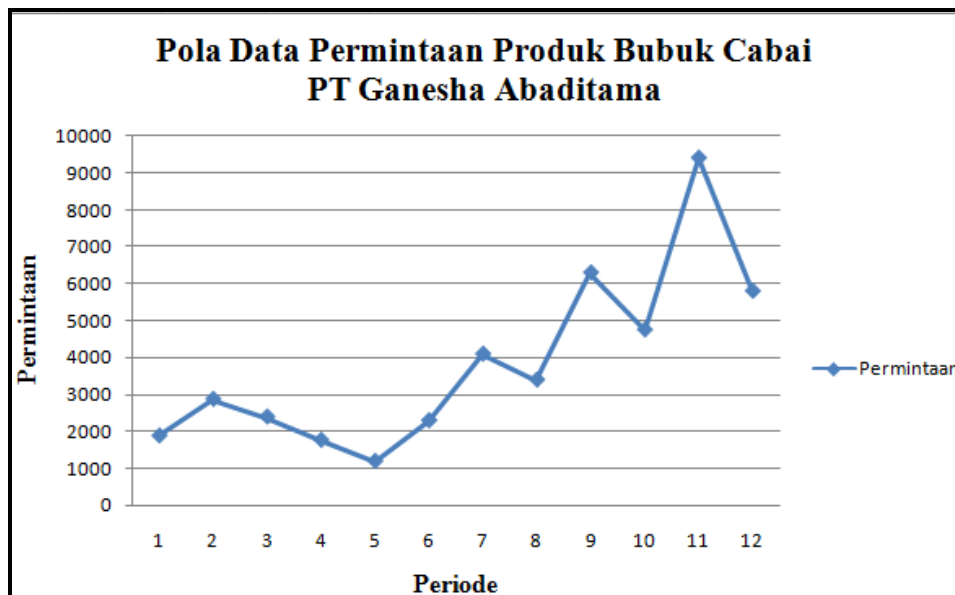
terkait jumlah permintaan, persediaan, dan jumlah produksi mulai bulan Juli 2016 hingga Juni 2017 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Permintaan, Persediaan, dan Jumlah Produksi (Kg)

Bulan	Permintaan (Kg)	Persediaan (Kg)	Jumlah Produksi (Kg)
Juli (2016)	1.889	1.590	3.479
Agustus (2016)	2.878	1.712	3.000
September (2016)	2.400	1.812	2.500
Oktober (2016)	1.770	1.542	1.500
November (2016)	1.200	1.467	1.125
Desember (2016)	2.300	3.472	4.305
Januari (2017)	4.100	3.849	4.477
Februari (2017)	3.400	4.597	4.148
Maret (2017)	6.300	6.180	7.883
April (2017)	4.700	8.604	7.124
Mei (2017)	9.400	10.449	11.245
Juni (2017)	5.800	10.656	6.007

Sebelum menentukan metode peramalan harus diketahui pola data yang digunakan terlebih dahulu. Pola data diketahui dengan

cara mem-plot data ke dalam *Microsoft Excel*. Pada Gambar 3 ditunjukkan pola data permintaan produk bubuk cabai.



Gambar 3. Pola Data Permintaan Produk Bubuk Cabai

Pola data permintaan produk bubuk cabai pada Gambar 3 menunjukkan bahwa permintaan produk bubuk cabai PT Ganesha

Abaditama cenderung naik. Kenaikan dan penurunan tersebut dapat dipengaruhi oleh minat konsumen, musim, ataupun waktu. Hal



tersebut dikarenakan produk bubuk cabai banyak diminati konsumen yang menjual makanan, serta pada waktu tertentu seperti hari raya. Proses peramalan permintaan yang ada menggunakan model regresi.

Parameter-parameter pada model regresi ditaksir menggunakan metode *least square error*. Pada model regresi terdapat dua faktor peramalan yang dihitung dari masa lalu

dan akan digunakan untuk melakukan peramalan dengan variabel waktu yaitu *intercept* dan *slop*. Pada Tabel 2 diberikan hasil peramalan berdasarkan model regresi. Hasil peramalan permintaan untuk periode ke-13 atau bulan Juli 2017 sebesar 7.228,137 kg untuk produk bubuk cabai. Hasil tersebut diperoleh dari besarnya nilai *intercept* sebesar 461,364. Nilai *slop* sebesar 520,521.

Tabel 2. Hasil Peramalan Metode Regresi

Bulan	Indeks Waktu (t)	Permintaan Aktual (A)	Peramalan (F)
Juli (2016)	1	1.889	981,885
Agustus (2016)	2	2.878	1.502,406
September (2016)	3	2.400	2.022,927
Oktober (2016)	4	1.770	2.543,448
November (2016)	5	1.200	3.063,969
Desember (2016)	6	2.300	3.584,49
Januari (2017)	7	4.100	4.105,011
Februari (2017)	8	3.400	4.625,531
Maret (2017)	9	6.300	5.146,053
April (2017)	10	4.700	5.666,573
Mei (2017)	11	9.400	6.187,095
Juni (2017)	12	5.800	6.707,615
Juli (2017)	13		7.228,137
MAD		1.171,106	

Penentuan jumlah produksi bubuk cabai yang ada menggunakan *input* berupa jumlah permintaan dan jumlah persediaan akan diolah dengan bantuan *software* MATLAB yang menggunakan *toolbox fuzzy logic*. Langkah awal yang harus dilakukan dalam mengelola data ialah menentukan variabel dan semesta pembicaraan. Tabel 3 memperlihatkan bahwa variabel yang digunakan atau variabel yang akan dibahas

ialah variabel permintaan dan persediaan serta jumlah produksi. Semesta pembicaraan merupakan suatu keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Nilai yang ada pada semesta pembicaraan merupakan bilangan *real* dari keseluruhan nilai yang diperbolehkan. Semua nilai yang ada pada semesta pembicaraan tersebut ialah nilai-nilai berdasarkan data satu tahun terakhir.

Tabel 3. Variabel *Fuzzy* dan Semesta Pembicaraan

Fungsi	Variabel	Semesta Pembicaraan	Keterangan
<i>Input</i>	Permintaan	[1.200, 9.400]	Jumlah permintaan per bulan (Kg)
	Persediaan	[1.467, 10.656]	Jumlah persediaan per bulan (Kg)
<i>Output</i>	Jumlah Produksi	[1.125, 11.245]	Jumlah Produksi Perusahaan (Kg)

Langkah selanjutnya ialah pembentukan himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang dapat mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Dimana, himpunan *fuzzy* memiliki kegunaan untuk dapat mengantisipasi nilai-nilai yang bersifat tidak pasti. Pada metode mamdani setiap variabel *fuzzy* diwakili oleh 3

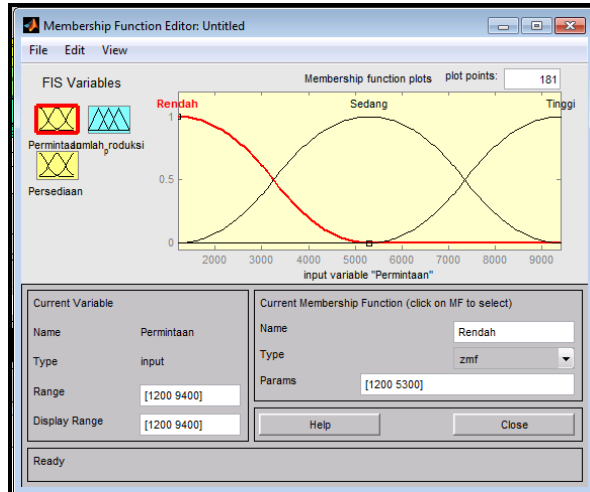
himpunan *fuzzy* yang terdiri dari rendah, sedang, dan tinggi. Selanjutnya setelah pembentukan himpunan *fuzzy* maka dilakukan penentuan domain dari masing-masing himpunan *fuzzy*. Nilai dari masing-masing domain yang ada pada himpunan *fuzzy* masih didalam interval semesta pembicaraan. Berikut adalah Tabel 4 himpunan *fuzzy* dan domain.

Tabel 4. Himpunan *Fuzzy* dan Domain

Fungsi	Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Semesta Pembicaraan	Domain
<i>Input</i>	Permintaan	Rendah	[1.200, 9.400]	[1.200, 5.300]
		Sedang		[1.200, 9.400]
		Tinggi		[5.300, 9.400]
	Persediaan	Rendah	[1.467, 10.656]	[1.467, 6.062]
		Sedang		[1.467, 10.656]
		Tinggi		[6.062, 10.656]
<i>Output</i>	Jumlah produksi	Rendah	[1.125, 11.245]	[1.125, 6.185]
		Sedang		[1.125, 11.245]
		Tinggi		[6.185, 11.245]

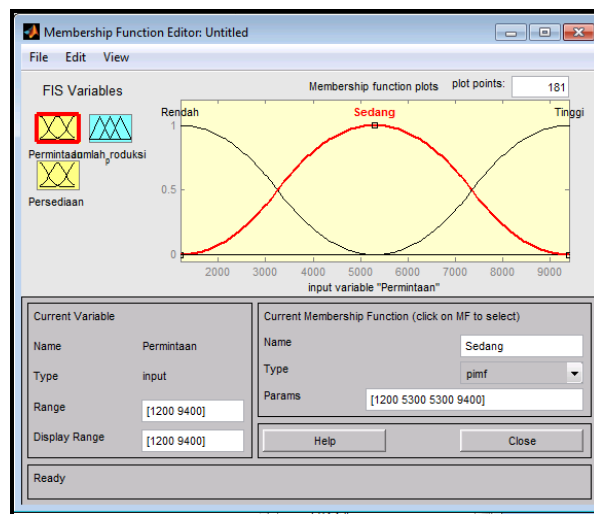
Tahap selanjutnya ialah aplikasi fungsi implikasi. Aplikasi fungsi implikasi yang digunakan pada metode mamdani ini ialah MIN yang artinya dengan mengambil derajat keanggotaan yang paling rendah dari setiap aturannya.

Kemudian membuat fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan tersebut merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke nilai keanggotaannya dimana memiliki interval antara 0 sampai 1.



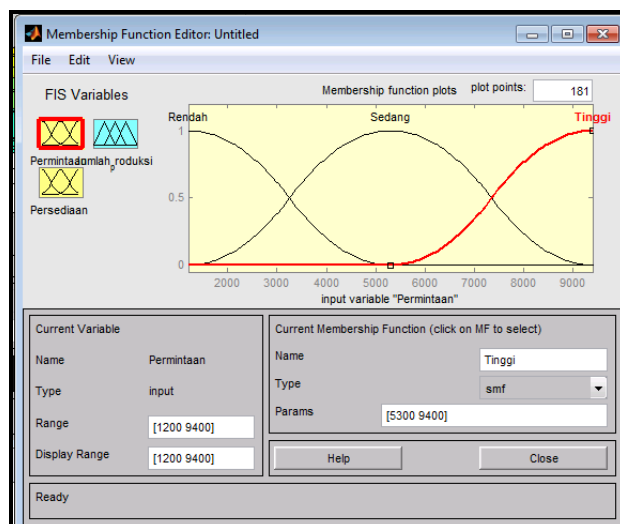
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Variabel Permintaan Himpunan Rendah

Fungsi keanggotaan dari variabel permintaan himpunan *fuzzy* rendah membentuk representasi kurva S penyusutan. Kurva tersebut bergerak menurun dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 1), ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 0). Himpunan *fuzzy* rendah memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 1.200 kg.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Variabel Permintaan Himpunan Sedang

Fungsi keanggotaan dari variabel permintaan himpunan *fuzzy* sedang membentuk representasi kurva bentuk lonceng dengan jenis kurvanya adalah kurva PI. Kurva PI berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat. Himpunan *fuzzy* sedang memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 5.300 kg yang memiliki rentang antara 1.200 kg sampai dengan 9.400 kg. Nilai keanggotaan yang ada terletak pada rentang dari 0 sampai 1 dalam pengambilan keputusan.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Variabel Permintaan Himpunan Tinggi

Fungsi keanggotaan membentuk representasi kurva S pertumbuhan. Dimana, kurva S pertumbuhan tersebut bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1). Himpunan *fuzzy* tinggi memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 9.400 kg. Fungsi keanggotaan dari variabel persediaan himpunan *fuzzy* rendah membentuk representasi kurva S penyusutan. Dimana, kurva tersebut bergerak menurun dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 1), ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 0). Himpunan *fuzzy* rendah memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 1.467 kg.

Fungsi keanggotaan dari variabel persediaan himpunan *fuzzy* sedang membentuk representasi kurva bentuk lonceng dengan jenis kurvanya adalah kurva PI. Kurva PI berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat. Himpunan *fuzzy* sedang memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 6.062 kg yang

memiliki rentang antara 1.467 kg sampai dengan 10.656 kg. Nilai keanggotaan yang ada terletak pada rentang dari 0 sampai 1 dalam pengambilan keputusan.

Fungsi keanggotaan dalam variabel persediaan tersebut membentuk representasi kurva S pertumbuhan. Dimana, kurva S pertumbuhan tersebut bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1). Himpunan *fuzzy* tinggi memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 10.656 kg.

Fungsi keanggotaan dari variabel jumlah produksi himpunan *fuzzy* rendah membentuk representasi kurva S penyusutan. Kurva tersebut bergerak menurun dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 1), ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 0). Himpunan *fuzzy* rendah memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 1.125 kg.

Fungsi keanggotaan dari variabel jumlah produksi himpunan *fuzzy* sedang

membentuk representasi kurva bentuk lonceng dengan jenis kurvanya adalah kurva PI. Kurva PI berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat. Himpunan *fuzzy* sedang memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 6.185 kg yang memiliki rentang antara 1.125 kg sampai dengan 11.245 kg. Nilai keanggotaan yang ada terletak pada rentang dari 0 sampai 1 dalam pengambilan keputusan.

Fungsi keanggotaan dalam variabel jumlah produksi tersebut membentuk representasi kurva S pertumbuhan. Dimana, kurva S pertumbuhan tersebut bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi

paling kanan (nilai keanggotaan =1). Himpunan *fuzzy* tinggi memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi dengan nilai 1 sebesar 11.245 kg.

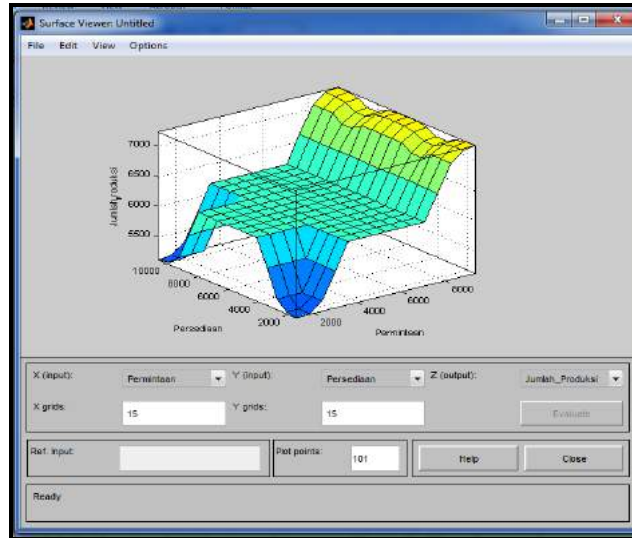
Tahap Selanjutnya ialah membentuk komposisi aturan logika *fuzzy*. Pembentukan aturan logika *fuzzy* ini berasal dari korelasi atau hubungan antara dua variabel *input* dan satu variabel *output*. Terdapat 22 aturan *fuzzy* yang digunakan. Aturan yang digunakan adalah *If* permintaan *And* persediaan *Then* jumlah produksi. berikut adalah aturan logika *fuzzy* yang dibentuk. Berikut adalah aturan logika *fuzzy* yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Komposisi Aturan Logika *Fuzzy*

Langkah terakhir yang dilakukan dalam penentuan jumlah produksi produk bubuk cabai adalah melakukan penegasan atau *defuzzifikasi* dengan menggunakan metode *centroid*. Berdasarkan hasil perhitungan penegasan atau *defuzzifikasi* terlihat bahwa *input* yang berupa prediksi permintaan produk berdasarkan peramalan permintaan pada bulan Juli 2017 sebesar 7.228,137 kg dan

jumlah persediaan produk berdasarkan jumlah persediaan pada bulan sebelumnya atau bulan Juni 2017 10.656 kg menghasilkan *output* jumlah produksi produk bubuk cabai pada bulan Juni 2017 sebesar 6.190 kg. Selain *output* jumlah produksi yang dapat diketahui dalam nilai atau angka yang ada pada perhitungan terdapat pula *output* berupa grafik.



Gambar 8. Grafik *Surface*

Pada Gambar 8 ditunjukkan grafik *surface* dari hasil *output* dari 22 aturan *fuzzy* yang dibuat. Grafik *surface* tersebut memiliki empat warna. Warna biru tua menyatakan nilai yang berada pada *range* rendah, warna biru muda menyatakan nilai yang berada pada *range* sedang, warna hijau dan warna kuning menyatakan nilai yang berada pada *range* tinggi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Jumlah permintaan produk bubuk cabai berdasarkan peramalan permintaan untuk periode berikutnya yaitu bulan Juli 2017 didapat sebesar 7.228,137 kg. Jumlah persediaan produk bubuk cabai pada periode sebelumnya yaitu bulan Juni 2017 sebesar 10.656 kg. Berdasarkan perkiraan permintaan dan jumlah persediaan pada PT Ganesha Abaditama maka jumlah produksi bubuk cabai periode berikutnya dengan metode

*fuzzy mamdani* ialah sebesar 6.190 kg. Saran yang diberikan untuk PT Ganesha Abaditama ialah perusahaan melakukan peramalan untuk menentukan berapa jumlah permintaan untuk periode berikutnya dengan suatu metode peramalan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah produk yang harus diproduksi untuk periode berikutnya tanpa hasil produksi yang berlebihan. Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya ialah sebaiknya peneliti dapat menerapkan metode yang berbeda dalam menentukan berapa jumlah produk yang harus diproduksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Assauri, *Manajemen produksi dan operasi*. Jakarta: LPFEUI, 2008.
- [2] N. E. Zendrato, O. Darnius, dan P. Sembiring, “ Perencanaan jumlah produksi mie instan dengan penegasan (defuzzifikasi) centroid fuzzy mamdani

- (studi kasus: jumlah produksi indomie di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Tanjung Morawa),” *Saintia Matematika*, vol. 2, no. 2, hal. 115 – 126, 2014.
- [3] A. L. Sawargo, dan S. Mundari, “Perencanaan produksi untuk memenuhi permintaan dengan biaya yang optimal,” *Jurnal Teknik Industri HEURISTIC*, vol.11, no. 2, hal. 11 – 24, 2014.
- [4] M. Anis, S. Nandiroh, dan A. D. Utami, “Optimasi perencanaan produksi dengan metode goal programming,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 5, no. 3, hal. 133 – 143, 2007.
- [5] M. Abrori dan A. H. Prihamayu, “Aplikasi logika fuzzy metode mamdani dalam pengambilan keputusan penentuan jumlah produksi,” *Kaunia*, vol. 11, no. 2, hal. 91 – 99, 2015.

# PENGARUH KOMPOSISI CU TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO DARI PENGECORAN AL-SI

<sup>1</sup>Willy Anderson, <sup>2</sup>Haris Rudianto, <sup>3</sup>Deni Haryadi

<sup>1,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat

<sup>1</sup>Willypangaribuan17@gmail.com, <sup>2</sup>harisrudianto@staff.gunadarma.ac.id,  
<sup>3</sup>deniharyadi97@gmail.com

## Abstrak

Aluminium (Al) merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam, selain itu aluminium juga mempunyai sifat mampu membentuk (*machinability*). Tembaga (Cu) ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan material tersebut, makin tinggi kadar tembaga maka makin banyak fasa yang terbentuk, sehingga kekerasan dan kekuatan paduan akan meningkat. Selain itu, peningkatan komposisi tembaga di dalam paduan Al-Si-Cu dapat juga meningkatkan sifat ketahanan korosi dan sifat ketahanan aus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi tembaga terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari pengecoran Al-Si. Hasil uji *hardness rockwell* menunjukkan bahwa semakin banyak unsur Cu yang ditambahkan pada paduan Al-Si maka semakin besar nilai kekerasan dan kekuatan paduan. Hasil pengujian *impact charpy* didapat nilai *impact* pada sampel 1 yaitu 0,0307 J/mm<sup>2</sup> dan sampel 2 yaitu 0,0129 J/mm<sup>2</sup>. Hasil pengujian *tensile* kekuatan tarik sampel 1 yaitu 93.50 N/mm<sup>2</sup>, sampel 2 yaitu 39.39 N/mm<sup>2</sup>, dan sampel 3 yaitu 33.60 N/mm<sup>2</sup>.

**Kata Kunci:** Aluminium alloy, pengecoran, sifat mekanik, tembaga

## Abstract

Aluminum (Al) is a lightweight metal, has good corrosion resistance and good electrical conductivity and other good properties as a metal property, besides that aluminum also has the ability to form (*machinability*). Copper (Cu) is added to increase the strength of the material, the higher the copper content, the more phases are formed, so that the hardness and strength of the alloy will increase. In addition, increasing the copper composition in Al-Si-Cu alloys can also improve corrosion resistance and wear resistance properties. This study aims to determine the effect of copper composition on the mechanical properties and microstructure of Al-Si casting. Rockwell hardness test results show that the more Cu elements added to Al-Si alloys, the greater the value of hardness and strength of the alloy. *impact charpy* test results obtained *impact* value in sample 1 is 0.0307 J / mm<sup>2</sup> and sample 2 is 0.0129 J / mm<sup>2</sup>. *Tensile* test results for tensile strength of sample 1 is 93.50 N / mm<sup>2</sup>, sample 2 is 39.39 N / mm<sup>2</sup>, and sample 3 is 33.60 N / mm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Aluminium alloy, casting, copper, mechanical properties



## PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam. Selain itu, aluminium juga mempunyai sifat mampu membentuk (*wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas dengan peleburan. Apabila aluminium dicampur sejumlah kecil elemen lain maka kekuatan dan kekerasannya akan meningkat, contohnya paduan antara aluminium dan tembaga (Al-Si-Cu) [1]. Dalam paduan Al, tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan material tersebut, makin tinggi kadar tembaga maka makin banyak fasa yang terbentuk, sehingga kekerasan dan kekuatan paduan akan meningkat. Sifat lain yang akan meningkat dengan adanya tembaga di dalam paduan Al-Si-Cu ialah sifat ketahanan korosi dan sifat ketahanan aus [2,3].

Dalam industri otomotif sebagai material untuk membuat *block cylinder* dan piston kendaraan bermotor yang tahan akan korosi dan sifat-sifat lainnya yang dibutuhkan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Murtadho membahas mengenai pengaruh kandungan tembaga (Cu) terhadap nilai fluiditas dan struktur mikro yang terbentuk pada paduan aluminium dengan variabel 4 wt%, 10 wt%, dan 33 wt%. Penelitian tersebut memberikan kesimpulan bahwa bertambahnya kandungan tembaga akan meningkatkan fluiditas paduan

aluminium yang ada [4]. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Saputra membahas analisis pengaruh penambahan tembaga (Cu) dengan variasi (7%, 8%, 9%) pada paduan aluminium silikon (Al-Si) terhadap sifat fisis dan mekanis. Pada penambahan Cu 7%, unsur Al sebesar 98,65%, Si 0,30% dan Cu 0,3090%. Pada Cu 8%, unsur Al sebesar 97,92%, Si 0,40% dan Cu 0,9350%. Pada penambahan Cu 9%, unsur Al 96,16%, Si 1,00% dan Cu 1,9290%. Hasil uji *impact* diketahui bahwa semakin banyak kadar penambahan Cu ke paduan Al-Si semakin rendah nilai *impact*. Kemudian pada material yang mengalami proses *heat treatment*, nilai *impact* meningkat dan semakin lama waktu tahan pada proses *heat treatment* maka nilai *impact* semakin meningkat. Hasil uji tarik diketahui bahwa semakin banyak penambahan Cu ke paduan Al-Si kekuatan tarik meningkat [5]. Kemudian material yang mengalami proses *heat treatment* kekuatan tariknya semakin meningkat dan semakin lama waktu tahan pada proses *heat treatment* kekuatan tariknya semakin meningkat lagi. Hasil uji kekerasan diketahui bahwa semakin banyak penambahan Cu ke paduan Al-Si kekerasan meningkat. Kemudian material yang mengalami proses *heat treatment* kekerasannya semakin meningkat dan semakin lama waktu tahan pada proses *heat treatment* kekerasannya semakin meningkat lagi [6,7].

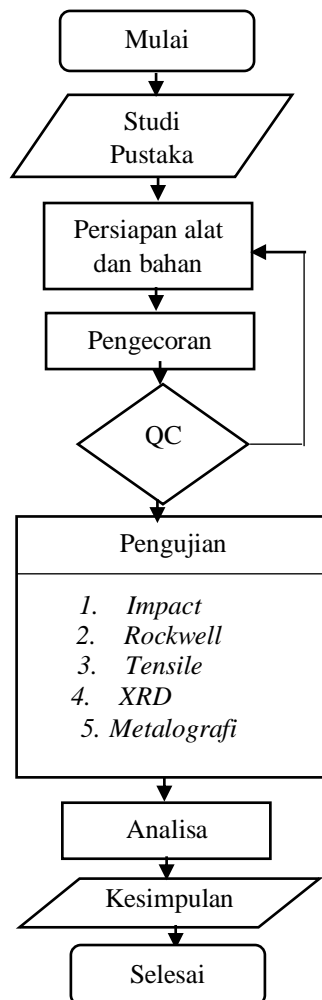
Pada penelitian ini dilakukan paduan aluminium (Al-Si) dan tembaga (Cu). Tujuan paduan tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi tembaga (Cu) terhadap

sifat mekanik dan struktur mikro dari pengecoran Al-Si menggunakan variabel 0,5 wt%, 1 wt%, 3 wt%, 5 wt%.

## METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian, biasanya

diawali dengan menetapkan beberapa tahapan atau langkah-langkah dalam melakukan penelitian. Berikut ini akan dijelaskan tentang metode penelitian yang dilakukan dari proses awal hingga akhir penelitian, yang ditunjukkan melalui diagram alir penelitian seperti Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium dengan campuran major

Si dengan seri Aluminium ADC12. Adapun komposisi kimia material seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia

Material	Unsur Kimia		
	Al (wt%)	Si (wt%)	Cu (wt%)
Sampel 1	89,9	10	0.1
Sampel 2	89	10	1
Sampel 3	87	10	3
Sampel 4	85	10	5

### Preparasi Sampel

Proses pengecoran dilakukan pada suhu 800 °C dengan lama *hold time* selama 1 jam. Proses pengecoran dilakukan dengan menggunakan alat induksi *heating* dengan menggunakan alat induksi *heating* dengan *maximum* suhu pemanasan 1000 °C. Adapun metode yang digunakan adalah metode pengecoran *sand casting*. Proses pengujian material yang telah di-*alloying* menggunakan metode pengecoran meliputi pengujian mekanis berupa *tensile*, *impact* dan *rockwell*. Pengujian karakterisasi menggunakan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Dimensi dari pengujian *tensile* mengikuti standar ASTM E8 dan pengukuran nilai kekerasan menggunakan alat uji Mitutoya HR-112 *rockwell hardness testing machines* dengan *load* yang diberikan sebesar 100 kgf dan *indenter* 1/16" *steel ball* [8].

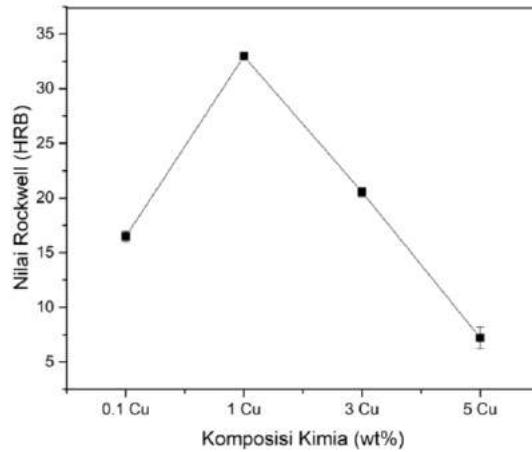
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan proses pengujian dilakukan analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa dapat berupa perhitungan yang dapat disajikan dalam bentuk grafik maupun bagan hasil pengujian struktur mikro maupun pengujian sifat mekanik dari material yang diuji dalam proses penelitian.

### Pembahasan Hasil Uji *Hardness Rockwell*

Pengujian dengan menggunakan metode *rockwell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (specimen) yang berupa bola baja maupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan benda uji tersebut. Pengukuran dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° dan ujungnya yang dibulatkan sebagai benda pendesak (*indenter*). Hasil pengujian *hardness rockwell* dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil pengujian *hardness rockwell* pada Gambar 2, nilai rata-rata Al-Si-Cu 0,5 wt% (16,48 HRB), Al-Si-Cu 1 wt% (32,96 HRB), Al-Si-Cu 3 wt% (20,54 HRB), Al-Si-Cu 5 wt% (7,22 HRB). Hasil pengujian dengan nilai rata-rata tertinggi yaitu pada variabel pencampuran Al-Si-Cu 1 wt% dengan nilai 32,96 HRB. Oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar variabel pencampuran Cu maka semakin menurun tingkat keuletan sebuah material tersebut. Jadi, Cu bersifat menurunkan keuletan dari paduan aluminium itu sendiri.



Gambar 2. Hasil Uji *Hardness Rockwell*

### Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan (spesimen). Prinsip pengujian *impact* menggunakan pendulum yang akan diberikan kepada suatu bahan (spesimen) secara kejut. Pada hasil

pengujian kekerasan didapatkan nilai tertinggi dengan sampel Al-Si-Cu 1 wt% dengan nilai 32,96 HRB. Selanjutnya pada sampel tersebut akan dilakukan pengujian *impact* untuk mengetahui ketahanan sampel dalam pemberian beban kejut. Hasil pengujian *impact* ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Impact Charpy* Al-Si-Cu 1wt% Setelah *Casting*

No	Energi <i>Impact</i> (Joule)	Luas dibawah Takikan (mm <sup>2</sup> )	Nilai <i>Impact</i> (J/mm <sup>2</sup> )
1	3,30	107,448	0,0307
2	1,20	92,318	0,0129

Nilai *impact* merupakan representatif dari besaran nilai keuletan material dimana pada sampel Al-Si-Cu 1 wt% didapatkan nilai *impact* dengan rata-rata sebesar 0,0218 J/mm<sup>2</sup>. *Energy impact* merupakan representatif dari besarnya energi yang dapat diserap oleh material sebelum material patah.

### Pengujian *Tensile*

Uji *tensile* atau tarik adalah salah satu uji *stress-strain* (*stress strain test*) untuk mencari

tegangan dan regangan yang bertujuan mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Mekanisme pengujian tarik dengan menarik suatu bahan lalu akan segera diketahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Uji tarik relatif sederhana, tidak mahal dan sangat terstandarisasi dibanding dengan yang lain. Hasil pengujian *tensile* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Tensile* Al-Si-Cu 1wt% Setelah *Casting*

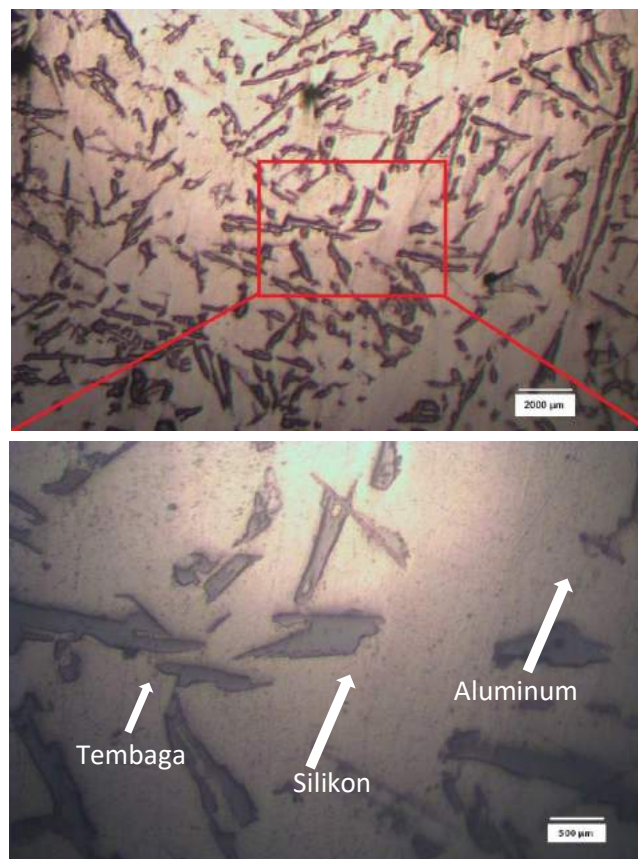
No	Gaya Maksimal (N)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )
1	12353,12	132,13	93,50
2	5467,218	138,81	39,39
3	4469,175	133,02	33,60

Berdasarkan Tabel 3, rata-rata nilai dari kekuatan tarik maksimum material adalah 55,496 dengan standar deviasi sebesar 26,97.

### Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk

observasi atau pemeriksaan atau pengamatan atau pengujian dalam menentukan atau mempelajari hubungan antara struktur dengan sifat atau karakter dan perlakuan yang pernah dialami material. Hasil dari pengujian metalografi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Mikro Al-Si + 1 Cu wt%

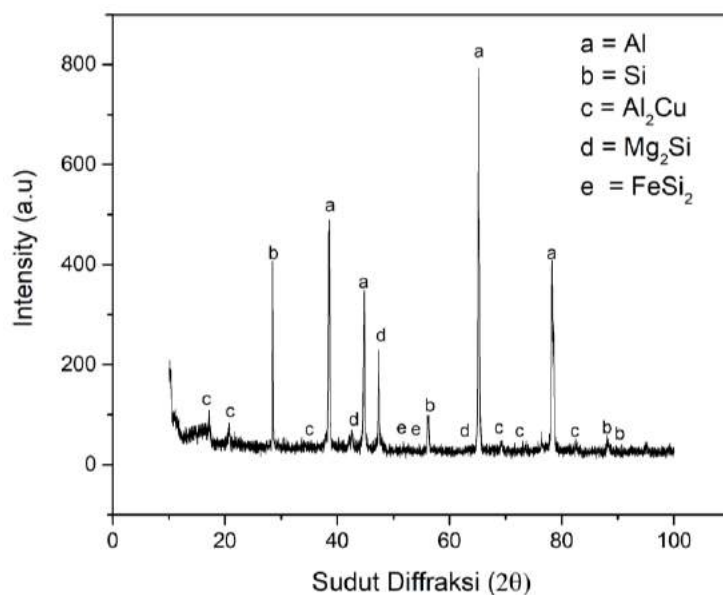
Pada hasil pengamatan uji struktur mikro Al-Si dengan penambahan Cu 1 wt dapat dilihat bahwa terdapat komposisi yang dominan pada

material uji tersebut. Alpha aluminium ( $\alpha$ -Al) yang menjadi fasa utama berwarna putih dan menyebar. Al-Si berbentuk garis panjang

berwarna hitam dan tembaga (Cu) menyebar pada setiap titik dan berbentuk gumpalan, ditambah dengan adanya porositas yang masing-masing ada pada setiap titik pengambilan gambar struktur mikro. Porositas itu sendiri ialah ukuran dari ruang kosong diantara material. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya porositas pada peleburan Al-Si dengan penambahan tembaga (Cu) ini, seperti jenis bahan Aluminium (Al-Si) maupun tembaga (Cu), jenis cetakan, maupun suhu di ruangan yang tidak stabil yang menyebabkan terjadinya sebuah porositas.

Pada penelitian ini, fungsi utama dari adanya aluminium (Al-Si) dengan pencampuran tembaga (Cu) yaitu, dapat memperbaiki sifat

atau karakteristik pengecoran, serta dapat meningkatkan ketahanan korosi dalam sebuah pengecoran. Sebaliknya, fungsi utama dari adanya tembaga (Cu) pada pengecoran Al-Si adalah meningkatkan sifat mekanik dari Aluminium (Al-Si). Tujuan dilakukan pencampuran Al-Si-Cu adalah untuk mengetahui seberapa berpengaruh tembaga (Cu) terhadap sifat mekanik dari Aluminium (Al-Si). Untuk lebih detail dalam menganalisa fase yang berada pada material maka dilakukan pengujian XRD. Pengujian XRD merupakan suatu teknik karakterisasi yang banyak digunakan dalam mengidentifikasi fase secara akurat. Hasil pengujian XRD material Al-Si-Cu 1% wt dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik XRD Material Al-Si + 1 Cu wt%

Pada Gambar 4, Al-Si-Cu 1% wt setelah proses pengecoran puncak partikel Al-Si-Cu 1wt% berat yang paling tinggi terlihat pada titik 2θ (sudut difraksi) adalah di antara dimensi

pola sudut pengukuran difraksi sinar-X dengan 60° – 70° . Titik terendah partikel Al-Si-Cu 1% berat terlihat pada titik 2θ (sudut difraksi) yang berada di antara dimensi pola difraksi sinar-X

dari sudut pengukuran  $70^\circ - 80^\circ$ . Gambar 4 menjelaskan bahan pengujian XRD Al-Si-Cu 1% wt setelah proses pengecoran menggunakan media pengecoran pasir dan penambahan elemen sama dengan 1% berat Cu dari analisis puncak sudut pengukuran  $10^\circ - 100^\circ$  dengan kecepatan variabel *step*  $0,02^\circ$  dan  $2^\circ$ / menit membentuk elemen baru setelah ditambahkan dengan persentase Cu 1% berat. Akan tetapi pada pengukuran sudut difraksi  $90^\circ$  dengan rentang intensitas sudut difraksi  $0 - 200$  dengan pengujian, kecepatan variabel *step*  $0,02^\circ$  dan  $2^\circ$ / menit. Elemen Cu terlihat jelas tidak bercampur dengan unsur paduan lainnya atau tidak membentuk elemen campuran baru setelah ditambahkan dengan Cu 1% berat. Pada pengukuran sudut difraksi  $20^\circ - 80^\circ$  tampak paduan Cu dicampur dengan unsur-unsur lain sehingga ada unsur baru setelah proses pengecoran dengan penambahan 1% berat Cu dan membentuk elemen baru  $Al_2Cu$ , dimana  $Al_2Cu$  merupakan hasil reaksi dari Al dan Cu terjadi pada suhu  $800^\circ C$ . *Precipitate*  $Mg_2Si$  terbentuk menunjukkan bahwa material yang digunakan terdapat kandungan Mg yang berperan dalam meningkatkan nilai dari sifat mekanis [9].

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa kandungan tembaga yang optimal pada aluminium adalah 1%wt dimana pada 1% wt terbentuk *precipitate*  $Al_2Cu$  yang cukup tinggi jika ditinjau dari hasil pengujian XRD.

Pada pengujian *impact charpy* dengan sampel Al-Si-Cu 1wt% didapat nilai *impact* sampel 1 yaitu  $0,0307 J/mm^2$  dan nilai *impact* sampel 2 yaitu  $0,0129 J/mm^2$ . Pada pengujian *tensile* dengan sample Al-Si-Cu 1wt% didapat kekuatan tarik sampel 1 sebesar  $93.50 N/mm^2$ , kekuatan tarik sampel 2 sebesar  $39.39 N/mm^2$ , kekuatan tarik sampel 3 sebesar  $33.60 N/mm^2$ .

Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam pengecoran adalah *sand casting*. Pada penelitian lebih lanjut dapat dilakukan metode pengecoran yang lain lalu dilakukan perbandingan hasil pengujian *impact*, *tensile*, metalografi, dan *hardness rockwell* pada setiap metode pengecoran sehingga dapat diketahui metode pengecoran yang memberikan hasil terbaik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Surdia dan S. Saito, *Pengetahuan bahan teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1999.
- [2] G. Svenningsen, J. E. Lein, A. Bjørgum, J. H. Nordlien, Y. Yu, dan K. Nisancioglu, "Effect of low copper content and heat treatment on intergranular corrosion of model AlMgSi alloys." *Corrosion Science*, vol. 48, no. 1, hal. 226 – 242, 2006.
- [3] Y. D. Sakti, "Pembentukan paduan AC4C setengah padat (semi solid)," Skripsi, Universitas Gunadarma, Jakarta, 2011.
- [4] A. Murtadho, "Analisa Struktur mikro dan fluiditas paduan aluminium tembaga

(Al-Cu) dengan metode pengecoran sand casting” Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.

- [5] R. Saputra, “Analisa pengaruh penambahan tembaga (Cu) dengan variasi (7%, 8%, 9%) pada paduan aluminium silikon (Al-Si) terhadap sifat fisis dan mekanis,” Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2012.
- [6] H. Kuhn dan M. Dana, *ASM Handbook, Volume 8, Mechanical Testing and Evaluation*, Ohio: ASM International, 2000.
- [7] E. Mueller, L. Carney, dan K. Mixson, “Use of eddy current conductivity and hardness testing to evaluate heat damage in aluminum alloys,” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol 18, no. 1, hal. 50 – 54, 2018.
- [8] W. F. Miao dan D. E. Laughlin, “Effects of Cu content and preaging on precipitation characteristics in aluminum alloy 6022,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 31, no. 2, hal. 361 – 371, 2000.
- [9] C. H. Caceres, M. B. Djurdjevic, T. J. Stockwell, dan J. H. Sokolowski, “The effect of Cu content on the level of microporosity in Al-Si-Cu-Mg casting alloys,” *Scripta Materialia*, vol. 40, no. 5, hal. 631 – 637, 1999.