

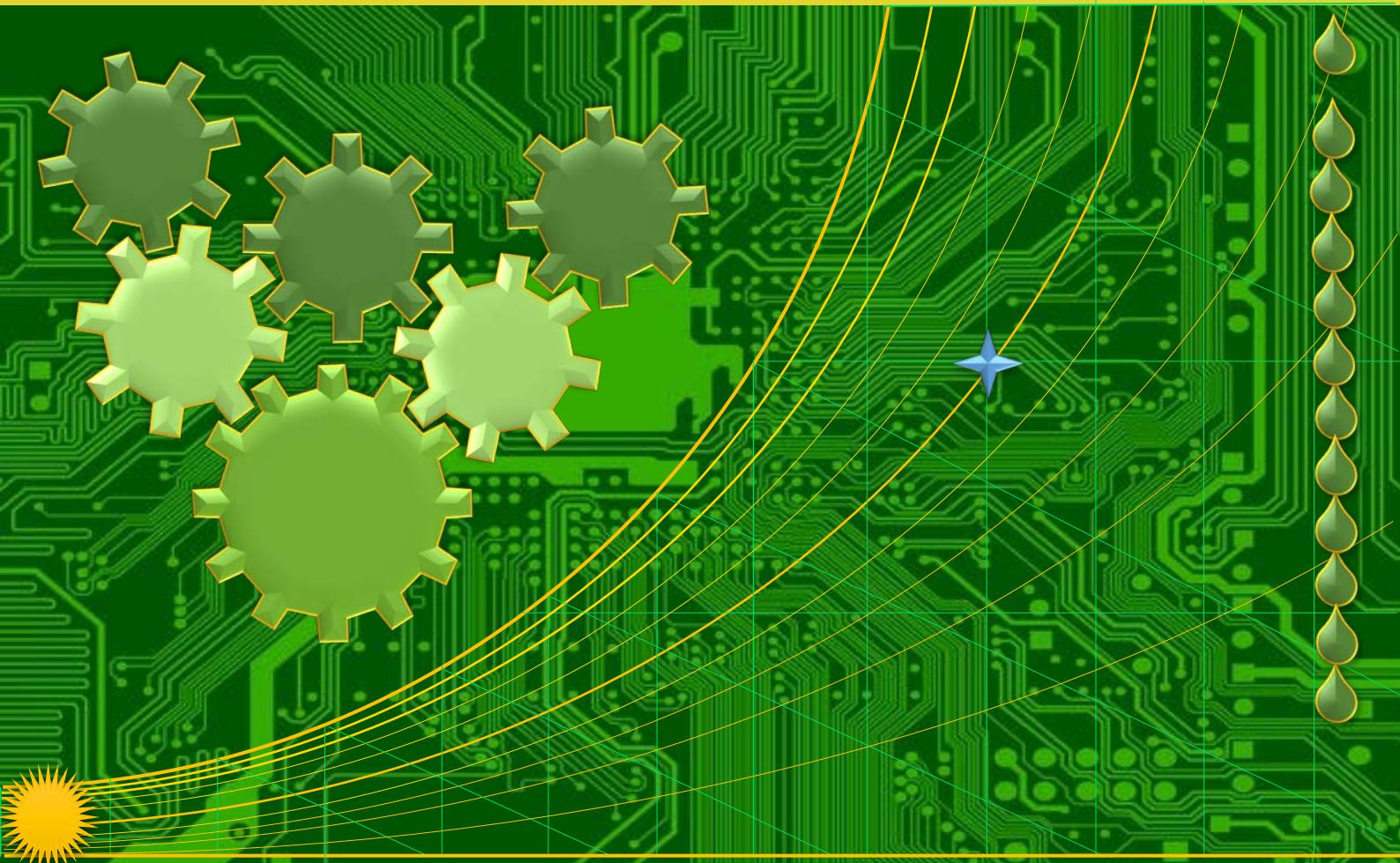
p-ISSN 2655-9145

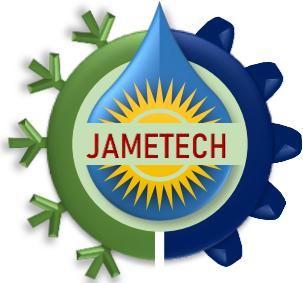
e-ISSN 2684-8201



JAMETECH

**Journal of
APPLIED MECHANICAL ENGINEERING
AND GREEN TECHNOLOGY**





JAMETECH

Journal of APPLIED MECHANICAL ENGINEERING AND GREEN TECHNOLOGY

Gedung P3M, Lt.1 Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran
PO BOX 1064, Kuta Selatan, Badung, Bali - Indonesia
Telp. (+62)361 701981 Fax. (+62)361 701128
Email: jametech@pnb.ac.id

JOURNAL TEAM

Advisors

I Nyoman Abdi (*Director of Politeknik Negeri Bali*)

A.A. Ngurah Bagus Mulawarman (*First Vice Director of Politeknik Negeri Bali*)

I Putu Mertha Astawa (*Head of Research Centre and Community Services of Politeknik Negeri Bali*)

Anak Agung Ngurah Gde Sapteka (*Head of Scientific Publication Unit of Politeknik Negeri Bali*)

Editor-in-Chief

I Nyoman Suamir

Associate Editor

I Made Rasta

Editorial Boards

I Dewa Made Cipta Santosa (*Politeknik Negeri Bali*)

I Made Suarta (*Politeknik Negeri Bali*)

I Putu Gede Sopan Rahtika (*Politeknik Negeri Bali*)

I Wayan Gede Santika (*Politeknik Negeri Bali*)

Putu Wijaya Sunu (*Politeknik Negeri Bali*)

Adi Winarta (*Politeknik Negeri Bali*)

Nyoman Sugiarkha (*Politeknik Negeri Bali*)

Made Ery Arsana (*Politeknik Negeri Bali*)

I Gusti Agung Bagus Wirajati (*Politeknik Negeri Bali*)

Kasni Sumeru (*Politeknik Negeri Bandung*)

Ardiyansyah Yatim (*Universitas Indonesia*)

Mirmanto (*University of Mataram*)

Language Editors

I Made Rai Jaya Widanta (*Politeknik Negeri Bali*)

Peer Reviewers

Nandy Setiadi Djaya Putra (*Mechanical Engineering Department, Universitas Indonesia*)

Wayan Nata Septiadi (*Mechanical Engineering Department, Universitas Udayana, Indonesia*)

I Dewa Gede Ary Subagia (*Mechanical Engineering Department, Universitas Udayana, Indonesia*)

I Nyoman Budiarso (*Mechanical Engineering Department, Universitas Udayana, Indonesia*)

I Gusti Ketut Puja (*Mechanical Engineering Department, Universitas Sanata Dharma, Indonesia*)

Tineke Saroinsong (*Mechanical Engineering Department, Politeknik Negeri Manado, Indonesia*)

Herman Saputro (*Universitas Sebelas Maret, Solo, Indonesia*)

Mulya Juarsa (*Puspitek BATAN, Serpong, Indonesia*)

Administrator

Ni Putu Werdiani Utami

PREFACE

Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology (Jametech) enhances research developments and publication of original research papers, review articles, short reports and experimental details. It is essential reading for all those wishing to keep well informed of research and industrial news in the fields of Applied Mechanical Engineering and Green Technology. The journal also provides platforms for debate and dissemination of research findings whilst also facilitating the discussion of new research areas and techniques.

The scope of the journal encompasses research into broad aspects in Mechanical Engineering, Green Technology and associated fields include Mechanics, Materials, Manufacturing and Production, Design and Construction, Automotive, Refrigeration Heating Ventilating and Air Conditioning (RHVAC), Mechanical and Plumbing for Buildings, Sustainable Energy Management and Technology, New, and Renewable Energy Technologies. This is particularly important in these times of rapid introduction of alternative new and renewable energy sources and the emergence of new sustainable energy technology. The journal also brings the development of new research approaches in the area.

The journal is managed by Department of Mechanical Engineering and published by the Center of Research and Community Services of Politeknik Negeri Bali three times in a year: March, July and November. Papers in this journal are published in English and Indonesian. Current publication of the Jametech is volume 3 issue 2 published in July 2022. The current issue includes 8 papers which covers 49 pages from 43 to 91.

Best Regards,
JAMETECH Editorial Team

TABLE OF CONTENTS

Kajian pengaruh <i>Page Flipper</i> buku otomatis berbasis mikrokontroler Atmega328p terhadap peningkatan minat membaca	43-47
<i>I Nyoman Sukarma, I Nengah Suparta, I Ketut Darminta, I Wayan Jondra dan I Kadek Aris Mahardika</i>	
Penggunaan refrigeran hidrokarbon MC-134 pada mesin freezer untuk pedagang es krim keliling	48-52
<i>I Dhea Made Susila, Daud Simon Anakottapary, I Wayan Adi Subagia, Putu Wijaya Sunu, dan I Nengah Ardita</i>	
Deteksi api kebakaran berbasis <i>computer vision</i> dengan algoritma YOLO.....	53-58
<i>I Gede Suputra Widharma, Putri Alit Widyaastuti Santiary, I Nengah Sunaya, I Ketut Darminta, I Gde Nyoman Sangka dan Putu Ardy Wahyu Widiatmika</i>	
Investigasi pengaruh perawatan darurat pada sistem pelumasan engine helikopter Bell 505 Jet Ranger X di PT. Urban Air Indonesia	59-63
<i>I Ketut Rimpung dan I Nyoman Gunung</i>	
Kajian penerapan PLC untuk meningkatkan produktivitas proses pengisian air dan penutup botol otomatis	64-70
<i>Putu Rizky Jaya Kusuma, I Ketut Parti, I Ketut Darminta, dan I Nyoman Mudiana</i>	
Perilaku supercooling pada proses solidification material perubahan fasa berbasis air	71-77
<i>I Made Rasta, I Nyoman Suamir, Adi Winarta, I Wayan Adi Subagia, I Dhea Made Susila</i>	
Simulasi penerapan looping system JTR untuk meningkatkan layanan pelanggan PT. PLN (Persero) menggunakan perangkat lunak ETAP	78-86
<i>I Putu Sutawinaya, I Wayan Sudiartha, I Ketut Ta dan I Gusti Guntur Saputra</i>	
Pengaruh sistem distribusi air pada <i>cooling pad</i> terhadap performansi <i>evaporative cooling</i> .	87-91
<i>I Kadek Dwiana, Luh Putu Ike Midiani, I Dhea Gede Agus Tri Putra</i>	



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>

p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Kajian pengaruh *Page Flipper* buku otomatis berbasis mikrokontroler Atmega328p terhadap peningkatan minat membaca

I Nyoman Sukarma^{1*}, I Nengah Suparta¹, I Ketut Darminta¹, I Wayan Jondra¹ dan I Kadek Aris Mahardika¹

¹Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung Bali 80364, Indonesia

*Email: sukarma@pnb.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi berpengaruh juga terhadap kemajuan dan motivasi untuk membaca buku. Salah satu teknologi yang dikembangkan dalam bidang elektronika adalah upaya meningkatkan minat baca. Dengan adanya alat Rancang Bangun *Page Flipper* Buku Otomatis Menggunakan Mikrokontroller ATmega328P maka dapat menjadikan alternatif untuk membuka buku lembar demi lembar buku. Selain itu alat ini juga tepat dimanfaatkan oleh orang dengan berkebutuhan khusus atau memiliki keterbatasan fisik (cacat tangan). Dengan adanya alat ini dapat mempermudah seseorang membaca buku karena dirancang menggunakan sistem otomatis. Alat *Page Flipper* buku otomatis menggunakan Mikrokontroller ATmega328P 4 buah motor servo dimana motor servo 1 melakukan gerakan 100° untuk menurunkan tuas pada roda penggerak dengan delay waktu 1 detik bersamaan dengan bekerjanya servo 2 yang ditandai dengan pergerakan roda memutar 100° agar lembaran buku atau file sedikit tertarik dengan delay 1 detik kemudian bergeraknya servo 3 yang berfungsi sebagai penahan lembaran buku atau file dengan gerakan 100°, dengan delay waktu 1 detik dan servo 4 bergerak 180° sebagai pelempar lembaran atau file buku tersebut. Serta sensor suara berfungsi untuk memberikan perintah ke mikrokontroler ATmega328P yang nantinya untuk memberikan perintah ke mikrokontroler ATmega 328P yang nantinya untuk menggerakkan semua motor servo tersebut ketika mendapatkan perintah.

Kata kunci: Mikrokontroler, sensor, motor servo

Abstract: Technological developments also affect the progress and motivation to read the book. One technology developed in the field of electronics is an effort to increase interest in reading. With the tool Design Building *Page Flipper* Automatic Book Using Microcontroller ATmega328P then can make an alternative to open the book sheet. In addition, this tool is also appropriately utilized by people with special needs or have physical limitations (hand disability). With this tool can make it easier for someone to read a book because it is designed using an automated system. The automatic book page flipper tool uses an ATmega328P Microcontroller 4 servo motors where the servo motor 1 moves 100° to lower the lever on the drive wheel with a time delay of 1 second along with the operation of servo 2 which is marked by the movement of the wheel rotating 100° so that the book sheet or file is slightly attracted by the 1 second delay, then servo 3 moves which functions as a hold for the book or file sheet with a 100° movement, with a time delay of 1 second and servo 4 moves 180° as the thrower of the book sheet or file. And the sound sensor functions to give commands to the ATmega328P microcontroller which will later give orders to the ATmega 328P microcontroller which will later drive all the servo motors when getting commands.

Keywords: Microcontroller, sensor, servo motor

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Salah satu teknologi yang dikembangkan dalam bidang elektronika adalah upaya meningkatkan minat baca. Sebenarnya, dalam kenyataan, semakin berkembangnya teknologi kecenderungan yang terjadi adalah orang semakin malas membaca buku. Hal itu disebabkan karena orang sudah bisa membaca banyak bahan bacaan dari alat-alat elektronik seperti gadget. Meskipun demikian, bukan berarti membaca buku sudah tidak penting lagi. Terutama

bagi mereka yang masih nyaman dengan aktivitas membaca buku, daripada membaca lewat gadget.

Untuk itulah, kini sudah ada yang menciptakan alat yang bernama *page flipper*. Alat ini didesain dengan rancangan sistem otomatis yang dapat menjadi alternatif membuka lembar demi lembar buku. Selain itu, alat ini juga tepat dimanfaatkan oleh orang dengan berkebutuhan khusus atau memiliki keterbatasan fisik (cacat tangan). Dengan adanya alat ini dapat mempermudah seseorang

membaca buku karena dirancang menggunakan sistem otomatis.

Mekanisme, alat ini akan bekerja membuka buku atau file lembaran secara otomatis dengan memberikan perintah atau masukan melalui suara atau sensor suara. Misalnya: saat pembaca membaca buku serta ingin membuka ke halaman selanjutnya maka pembaca hanya cukup mengucapkan dengan kata "Buka". Maka, file atau halaman selanjutnya secara otomatis akan terbuka tanpa menggunakan tangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat merancang bangun page flipper buku otomatis berbasis mikrokontroler atmega328p.

2. Metode dan Bahan

Dalam penelitian ini diperlukan beberapa langkah-langkah perencanaan dan perancangan yaitu dari pembuatan blok diagram rangkaian, pembuatan rangkaian pada software EAGLE, pembuatan layout pada software EAGLE, proses pemindahan layout ke PCB, proses pelarutan PCB, pengecekan komponen-komponen, pemasangan komponen, proses penyolderan, dan pembuatan flowchart program, dan proses pembuatan program hingga alat selesai. Dalam metode perencanaan terdapat dua bagian perencanaan yaitu:

a) Perencanaan Sistem

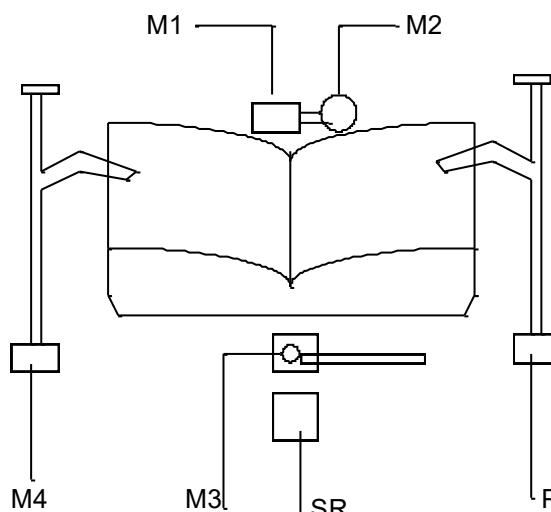
- Membuat blok diagram sistem
- Membuat flowchart program
- Membuat program sesuai dengan flow chart yang telah dibuat dengan menggunakan bahasa C

b) Perencanaan Hardware

- Dimulai dari pembuatan rangka.
- Desain skematik menggunakan software eagle.
- Desain layout PCB menggunakan software eagle.
- Penyablonan dan pelarutan PCB.
- Pemeriksaan komponen dan pemasangan komponen.

c) Desain Hardware/perangkat keras

Di bawah ini adalah gambar design hardware dari simulasi Rancang Bangun Page Flipper Buku Otomatis menggunakan Mikrokontroller ATmega328P:



Gambar 1. Disain perangkat keras simulasi alat page flipper

Tabel 1. Keterangan simulasi alat page flipper

No	Kode	Keterangan
1	M1	Motor Servo 1
2	M2	Motor Servo 2
3	M3	Motor Servo 3
4	M4	Motor Servo 4
5	SR	Sensor Suara
6	P	Pegas



Gambar 2. Konstruksi alat page flipper

d) Perencanaan Software

- Membuat program menggunakan Bascom AVR.
- Compile program
- Upload program ke mikrokontroler

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data hasil pengujian

Pada pengujian sistem minimum mikrokontroler ATmega328P dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran tegangan. Tujuan mengukur tegangan pada sistem minimum ATmega328P adalah untuk memastikan kestabilan input tegangan yang dibutuhkan dan selanjutnya melakukan upload untuk menyalaikan beberapa LED sebagai indikatornya. Tujuan untuk memastikan program yang sudah dibuat dapat tersimpan pada mikrokontroler dan dapat bekerja sesuai instruksi program tersebut.

Pengujian dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

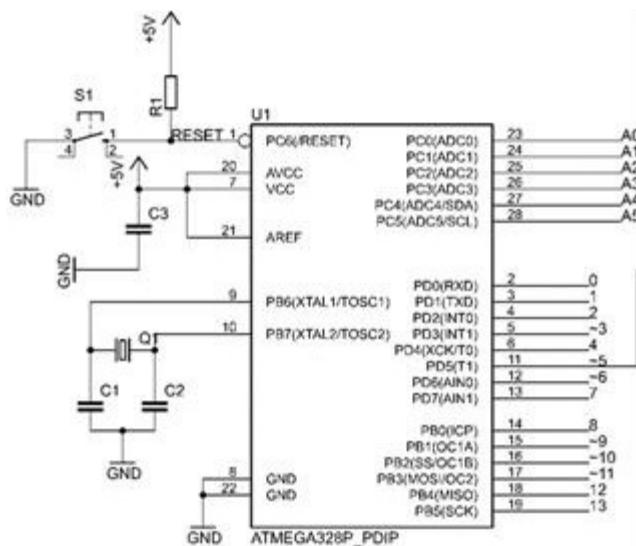
- Menghubungkan sistem minimum mikrokontroler Atmega328p dengan downloader USB ASP untuk dapat memprogramnya.
- Membuat program port mikrokontroler dengan memberikan logika high dan low, kemudian menghubungkan port yang deprogram ke led indicator. Memberikan suply ke sistem minimum sebesar 12V.
- Mengukur tegangan keluaran dari port tersebut.
- Mencatat hasil pengujian.

Pengujian Blok Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega328P juga dengan mengupload program Blink dengan software Arduino dan LED sebagai indikator bahwa sistem minimum dalam kondisi baik. Program

Blink dapat dilihat sebagai berikut. Listing program blink yaitu:

```
/*
Blink
Untuk variasai flip flop
*/
int led1 = 12;                                //instruksi
program pada pin 12
int led2 = 13;                                //instruksi
program pada pin 13

void setup() {
  pinMode(led1, OUTPUT);    //mengatur output pada pin
12 diarduino
  pinMode(led2, OUTPUT);    //mengatur output pada pin
13 diarduino
}
```



Gambar 3. Sistem minimum mikrokontroler.

```
void loop() { //memerintahkan
instruksi program untuk bekerja
  digitalWrite(led1, HIGH); //kondisi pada led1 on
  digitalWrite(led2, HIGH); //kondisi pada led2 on
  delay(1000); //waktu on
  selama 1 detik

  digitalWrite(led1, LOW); //kondisi pada led1 off
  digitalWrite(led2, LOW); //kondisi pada led2 off
  delay(1000); //waktu off
  selama 1 detik
}
```

Tabel 2. Hasil pengukuran system minimum

Pengukuran	Hasil Pengukuran	Keterangan
Vcc	5,07 VDC	Pin 7
AVcc	5,08 VDC	Pin 20

Pada pengujian mikrokontroler ATmega328P yang sudah terisi program dapat diamati secara langsung proses program bekerja sesuai instruksi yang sudah dibuat. Mengamati dua kondisi pada led yaitu kondisi menyala dan kondisi padam. Rentang waktu yang dibutuhkan dapat

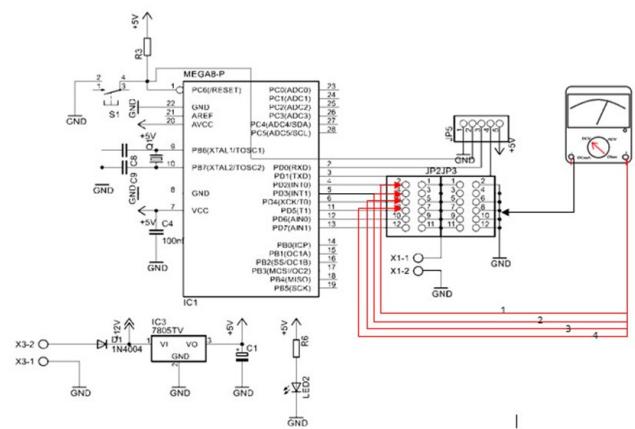
diamati sesuai instruksi delay yang sudah dibuat. Instruksi program akan memerintahkan setiap kondisi tertentu yang akan dilakukan secara berulang-ulang pada pengaturan void loop.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sketch Blink Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega328P

Pin Arduino	Kondisi LED 1 detik pertama	Logika Output 1	Kondisi LED 1 detik pertama	Logika Output 2
12	Menyalang	<i>High</i>	Padam	<i>Low</i>
12	Menyalang	<i>High</i>	Padam	<i>Low</i>

3.2 Pengujian motor servo

Tujuan pengujian motor servo adalah untuk mengetahui bekerja atau tidaknya motor servo. Rangkaian motor servo pada alat simulasi ini menggunakan 4 motor servo, dimana motor servo 1, 2, 3 dan 4 sebagai penggerak membuka lembaran buku. Kerja motor servo mendapat sinyal perintah dari sensor suara dan sudut kerja 100° .



Gambar 4. Rangkaian motor servo.

Tabel 4. Hasil Pengujian Motor Servo 1

Servo 1 (PD2)	
Standby	Bekerja
0,5 V DC	4,95 V DC

Tabel 5. Hasil Pengujian Motor Servo 2

Servo 2 (PD3)	
Standby	Bekerja
0,5 V DC	4,95 V DC

Tabel 6. Hasil Pengujian Motor Servo 3

Servo 3 (PD5)	
Standby	Bekerja
0,5 V DC	4,95 V DC

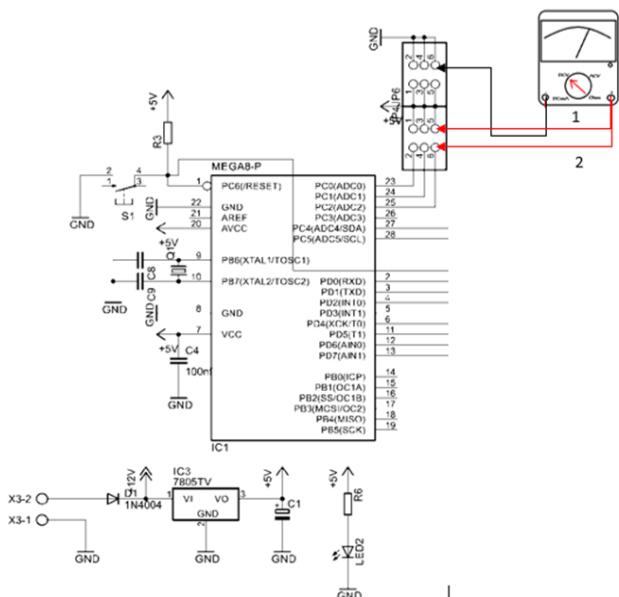
Tabel 7. Hasil Pengujian Motor Servo 4

Servo 4 (PD6)	
Standby	Bekerja
0-5 V DC	4.95 V DC

Dari hasil pengukuran motor servo 1,2,3 dan 4 didapat tegangan stndyby yaitu sebesar 0,5 V DC dan pada saat motor servo bekerja mendapat hasil ukur sebesar 4,95 V DC. Pergerakan motor servo akan di beri perintah melalui suara, jika mendengar suara servo 1 melakukan gerakan 100° untuk menurunkan tuas pada roda penggerak dengan delay waktu 1 detik bersamaan dengan bekerjanya servo 2 yang ditandai dengan pergerakan roda memutar 100° agar lembaran buku atau file sedikit tertarik dengan delay 1 detik kemudian bergeraknya servo 3 yang berfungsi sebagai penahan lembaran buku atau file dengan gerakan 100°, dengan delay waktu 1 detik dan servo 4 bergerak 180° sebagai pelempar lembaran atau file buku tersebut. Setelah selesai pergerakan motor servo 1,2,3 dan 4 di delay waktu 1 detik kemudian motor servo 1,2 dan 3 akan kembali ke posisi awal.

3.3. Pengujian Sensor Suara

Rangkaian sensor suara ini menggunakan 1 buah sensor, dimana sensor akan mendeteksi suara dan sebagai penggerak utama. Dimana sensor suara ini memberikan sinyal kepada motor servo 1,2,3 dan 4 untuk menggerakkan servo.



Gambar 5. Rangkaian motor servo

Tabel 8. Hasil Pengukuran Sensor Suara

Sensor Suara (PC0)	
Standby	Bekerja
0,10 V DC	5,06 V DC

Hasil pengukuran tegangan output pada saat sensor suara mendengar perintah adalah 5,06 V DC dan ketika tidak ada perintah suara maka tegangan standby sensor suara adalah 0,10 V DC. Ketika Sensor suara biberi perintah oleh mikrokontroller. Dan mikrokontroler memberikan perintah motor servo 1,2,3 dan 4 untuk bergerak. Sensor suara sebagai penggerak utama pada pembuatan rancang bangun *page flipper* untuk digitalisasi buku otomatis menggunakan mikrokontroller ATmega328P.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa pada penerapan mikrokontroller ATmega328P untuk Rancang Bangun *Page Flipper* Buku Otomatis menggunakan Mikrokontroller ATmega328P, dapat disimpulkan bahwa:

1. Merancang alat Rancang Bangun *Page Flipper* Buku Otomatis Menggunakan Mikrokontroller ATmega328P ini menggunakan 4 buah motor servo dimana motor servo 1 melakukan gerakan 100° untuk menurunkan tuas pada roda penggerak dengan delay waktu 1 detik bersamaan dengan bekerjanya servo 2 yang ditandai dengan pergerakan roda memutar 100° agar lembaran buku atau file sedikit tertarik dengan delay 1 detik kemudian bergeraknya servo 3 yang berfungsi sebagai penahan lembaran buku atau file dengan gerakan 100° , dengan delay waktu 1 detik dan servo 4 bergerak 180° sebagai pelempar lembaran atau file buku tersebut. Serta sensor suara berfungsi untuk memberikan perintah ke mikrokontroller ATmega328P yang nantinya untuk memberikan perintah ke mikrokontroller ATmega 328P yang nantinya untuk menggerakkan semua motor servo tersebut ketika mendapatkan perintah.
 2. Hasil perancangan rangkaian Rancang Bangun *Page Flipper* Buku Otomatis Menggunakan Mikrokontroller ATmega328P dapat dibuat dengan menggunakan software arduino IDE sebelum membuat program maka, harus membuat flow chart program terlebih dahulu. Dilanjutkan dengan membuat program dengan cara: Membuka software arduino IDE kemudian mencari arduino yang digunakan, selanjutnya memilih port yang digunakan. Kemudian dilanjutkan dengan mengkoding program rancang bangun *page flipper* buku otomatis menggunakan mikrokontroller Atmega328P.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan atau dukungan dari teman-teman di Jurusan Teknik Elektro PNB, dan juga terima kasih kepada tim redaksi jurnal Jametech.

Daftar Pustaka

- [1] H. Andrianto, "Belajar Cepat dan Pemrograman Arduino", Bandung, 2016.
 - [2] Budiarto, Widodo, dan S. Firmansah, "Elektronika Digital dan Mikroprosesor. Andi Offset", Yogyakarta, 2005.
 - [3] P. Diah Utami, I.K.N. Wiyasa, "Pengembangan Media flip Book Digital Berbasis Discovery Learning Materi Sistem Pencernaan Manusia Kelas V Sekolah Dasar", Jurnal Pendidikan dan Konseling, 4(2), 2022.
 - [4] I.P. Ervhy, T. Rustini, A.D. Dinie, "Rancang Bangun Media E-Book Flipbook Interaktif pada Materi Interasi manusia dengan lingkungan Sekolah Dasar", ELia Journal of Education Learning and Inovation, 1(2), 2021.
 - [5] E. Lestari, N. Lukman, I.S. Dwi, "Pengembangan e modul berbasis Flip Pdf Profesional tema Global Warming sebagai sumber Belajar Mandiri Siswa kelas VII", PENDIPA Journal of Science Education, ejurnal ISSN, 2022, 2086-9363.

- [6] E. Putra, dan Agfianto, “Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/53”, Media Komputindo, Yogyakarta, 2010.
- [7] E.D. Susanti, U. Solihah, “Pengembangan e-modul berbasis Flip Pdf Corporate pada Materi luas dan volume bola”, Jurnal Pendidikan Matematika Vol. 3(1), 2021.
- [8] Z.M. Jazirotu, M. Sutomo, M. Sahlan, “Pengembangan Media Pembelajaran berbasis Flipbook dalam menunjang Proses Pembelajaran Siswa”, PESAT Jurnal Pendidikan Sosial dan Agama, 7(3), 2021.
- [9] Nalwan, P. Andi, “Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51”, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2003.
- [10] Pitowarno, Endra, “Mikroprosesor dan Interfacing”, CV Andi Offset, Yogyakarta, 2005.
- [11] D. Sugiyanto, “Modul virtual: Multimedia Flipbook Dasar Teknik Digital. Jurnal INVOTEC, 9(2), 2013, 101-116.
- [12] I. Sriwahyuni I., Eko, dan J. Henny, “Pengembangan bahan ajar elektronik menggunakan flip pdf profesional pada materi alat-alat optik di SMA”, Jurnal Kumparan Fisika, 3(1), 2019, 68-80.
- [13] Widoddo, R. Budhi, “Embedded System Menggunakan Mikroprosesor-Mikrokontroler dan Pemrograman C”, CV Andi Offset. Yogyakarta. 2005.
- [14] Widyatmo, Arianto, “Belajar Mikroprosesor- Mikrokontroler melalui Komputer PC”, Elex media Komputindo, Jakarta, 1999.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Penggunaan refrigeran hidrokarbon MC-134 pada mesin freezer untuk pedagang es krim keliling

I Dewa Made Susila^{1*}, Daud Simon Anakottapary¹, I Wayan Adi Subagia¹, Putu Wijaya Sunu², dan I Nengah Ardita²

¹Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

²Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: dewamadesusila@pnb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dengan tujuan mengevaluasi unjuk kerja dan konsumsi energi pada mesin freezer untuk penjual es krim keliling menggunakan refrigeran ramah lingkungan MC134 dengan kapasitas kompresor 1/10 HP. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Ukuran pipa kapiler ditentukan dengan menggunakan program aplikasi *Cap Tube 1.0.8.0*. Evaporator yang digunakan adalah tipe *bare tube* yang dililitkan pada kotak es krim. Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu dan tekanan refrigeran, suhu di dalam kotak es krim, serta arus dan tegangan listrik dalam sistem. Hasil analisis performasi dan konsumsi energi juga akan dibandingkan jika sistem menggunakan refrigeran HFC134a. Dari hasil pengujian didapatkan massa optimum yang dimasukkan ke dalam sistem untuk refrigeran MC134 adalah 155gram dan massa optimum untuk R-134a adalah 202 gram. Penggunaan refrigeran MC134 lebih hemat sebesar 23,3%. COP untuk refrigeran MC134 adalah 3,1 sedangkan COP untuk R134a adalah 2,7. Konsumsi energi untuk MC134 adalah 67,8 kJ sedangkan untuk R134a adalah 83 kJ.

Kata kunci: freezer, performansi, konsumsi energi, refrigerant MC-134

Abstract: This study aims to determine the performance and energy consumption of the freezer machine for mobile ice cream sellers using the environmentally friendly MC134 refrigerant with a compressor capacity of 1/10 HP. This research was conducted using an experimental method. The size of the capillary tube is determined using the Cap Tube 1.0.8.0 application program. The evaporator used is a bare tube type that is wrapped around an ice cream box. The test is carried out by measuring the temperature and pressure of the refrigerant, the temperature in the ice cream box, as well as the electric current and voltage in the system. The results of the analysis of performance and energy consumption will also be compared if the system uses HFC134a refrigerant. From the test results obtained the optimum mass that is filled into the system for MC134 refrigerant is 155 grams and the optimum mass for 134a refrigerant is 202 grams. The use of MC134 refrigerant is more efficient by 23.3%. The COP for MC134 refrigerant is 3.1 while the COP for 134a refrigerant is 2.7. The energy consumption for MC134 is 67.8 kJ while for R134a is 83 kJ.

Keywords: freezer, performance, energy consumption, MC134 refrigerant

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Es krim menjadi salah satu es sajian berbentuk beku dibuat dengan membekukan campuran produk susu, gula, stabilisator, pengemulsi dan bahan-bahan lainnya. Es krim tidak asing lagi dikalangan semua usia karena hampir semuanya menyukai es krim. Untuk menjaga agar es krim tetap dalam kondisi dingin dan beku maka pedagang es krim keliling menggunakan es balok yang diserut kemudian ditempatkan disekitar tabung/wadah penyimpanan es krim. Namun saat ini sudah mulai digunakan *blue ice* atau *ice pack* untuk menjaga agar es krim yang dijajakan berkeliling tetap dingin dan beku. Namun demikian bahan yang digunakan sebagai pendingin

itu lama kelamaan tentu akan menurun temperaturnya sehingga es krim-pun akan turun juga temperaturnya.

Oleh karena itu perlu memanfaatkan teknologi refrigerasi untuk menjaga kondisi es krim agar tetap stabil yaitu menggunakan mesin refrigerasi seperti *freezer*. Mesin refrigerasi konvensional menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap. Penggunaan refrigeran konvensional yang mempunyai dampak terhadap penipisan ozon dan pemanasan global sudah tidak boleh diproduksi lagi.

Dunia saat ini mencari refrigeran yang tidak berkontribusi terhadap pemanasan global dan penipisan lapisan ozon. Pengujian performansi pada mesin *showcase* buah dengan menggunakan fluida kerja R134a dan

MC134, dari hasil pengujinya disimpulkan bahwa dengan R134a didapatkan COP aktual = 2,528 dan dengan menggunakan MC134 didapatkan COP aktual = 2,710 [1]. Penelitian katup ekspansi ganda yang dipasang paralel pada mesin dengan siklus refrigerasi kompresi uap yang menggunakan MC134 dengan memvariasi beban pendinginan 0,23; 0,33; dan 0,39 kg/s diamati selama sistem bekerja hingga kondisi tunak, memberikan efek positif terhadap efek refrigerasi dan COP. Efek refrigerasi tertinggi yang dihasilkan sebesar 257 kJ/kg dan COP sebesar 5,84 [2]. Pada penelitiannya yang terdahulu bahwa penggunaan MC134 mempunyai kinerja sistem refrigerasi terbaik dengan penyetelan alat ekspansi -180° . Pada posisi itu mempunyai kerja kompresi relatif rendah dan kerja kompresor menjadi ringan dan tidak membutuhkan energi yang besar saat beroperasi [3].

Mesin refrigerasi skala kecil seperti *freezer* maupun lemari es saat ini masih menggunakan refrigeran R-134a. Refrigeran jenis ini termasuk golongan HFC dengan potensi pemanasan global (*GWP*) yang tinggi yaitu 1300 [4]. Penelitian untuk mengevaluasi pengaruh temperatur evaporasi terhadap kinerja mesin pendingin menggunakan refrigeran R-134a dan MC-134 pada tekanan pengisian refrigeran yang optimal. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tekanan pengisian yang optimal untuk R134a adalah 20 bar-g dan untuk MC-134 adalah 25 bar-g. Diperoleh efek refrigerasi meningkat 106,43%, kerja kompresor naik 70,22%, daya kompresor turun 12,64%, energi listrik juga turun 14,69% dan COP naik 21,37% untuk MC-134 bila dibandingkan dengan R134a [5].

Penelitian tentang perbandingan performansi freezer 1/5 PK dengan R-134a dan Musicool (MC-134) menyimpulkan bahwa retrofit dari R-134a menjadi Musicool MC-134 sangat bisa dan layak untuk digunakan tanpa mengubah komponen pendukung sistem [6]. Dari penelitiannya juga dilaporkan adanya penurunan temperatur jauh lebih cepat dibandingkan dengan R-134a dengan nilai 30% lebih cepat pada temperatur set point -18°C . Refrigeran hidrokarbon (HC) mempunyai unjuk kerja (performansi) yang lebih baik dibandingkan dengan refrigeran dari golongan HCFC maupun HFC. Di Uni Eropa (UE), HFC saat ini sedang dihentikan karena nilai *GWP*-nya yang tinggi [7].

Refrigeran hidrokarbon (HC) memiliki potensi yang baik untuk menggantikan HCFC sepenuhnya sebagai refrigeran dimasa depan karena kinerjanya sesuai dengan refrigeran HCFC dan masalah mudah terbakar dapat diatasi dengan penggunaan desain yang efektif dan keamanannya ditingkatkan [8]. Penggunaan refrigeran alami seperti CO_2 , NH_3 dan hidrokarbon seperti R290, R600, R600a dan campuran hidrokarbon adalah solusi yang mungkin untuk refrigeran konvensional dan digunakan secara efisien di banyak sistem [9].

Salah satu jenis refrigeran hidrokarbon yang diproduksi oleh Pertamina UP III bekerja sama dengan Penelitian & Laboratorium (P&L) Bidang Pengolahan Direktorat Hilir Pertamina Kantor Pusat adalah Musicool 134 [10]. Musicool 134 yang disingkat dengan MC134 merupakan refrigeran pengganti R134a. Refrigeran hidrokarbon merupakan refrigeran ramah lingkungan karena tidak berdampak negatif terhadap pemanasan global maupun penipisan lapisan ozon. MC134 merupakan refrigeran

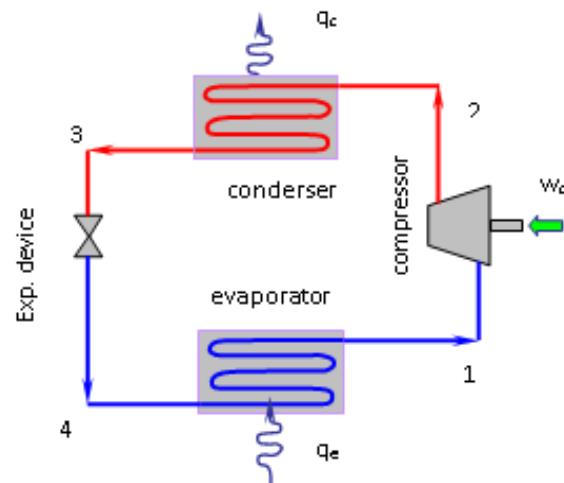
hidrokarbon campuran antara *Propane* (R290) dan *Iso Butane* (R600).

Telah dilakukan penelitian untuk menemukan refrigeran alternatif pengganti R22, R134a dan R404A dengan hidrokarbon pada mesin refrigerasi dengan siklus refrigerasi kompresi uap yang dilengkapi dengan LSHX. Refrigeran hidrokarbon yang digunakan adalah R600 dan refrigeran campuran R290/R600a dengan perbandingan 50:50. Disimpulkan bahwa campuran refrigeran R290/R600a dengan perbandingan 50:50 dapat digunakan sebagai substitusi R404A dan R22, sedangkan refrigeran 600 dapat digunakan sebagai substitusi R134a [11]. Sifat mudah terbakar hidrokarbon membutuhkan pemahaman penuh tentang penggunaanya yang aman pada mesin lemari es [12].

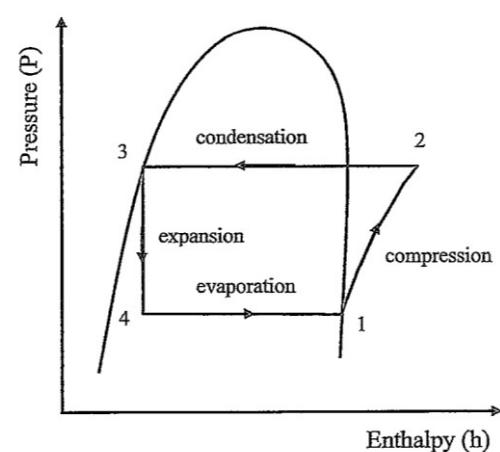
Penelitian tentang potensi perolehan penghematan energi listrik pada kulkas dengan konversi dari R-134a ke hidrokarbon MC134 untuk dialokasikan di rumah tipe sederhana menyimpulkan bahwa koversi refrigeran pada kulkas dari R-134a menjadi MC134 bisa diperoleh penghematan energi listrik sebesar 20% [13].

2. Studi Literatur

2.1. Siklus refrigerasi kompresi uap



Gambar 1. Diagram kerja siklus refrigerasi kompresi uap



Gambar 2. Diagram P-h siklus refrigerasi kompresi uap ideal.

Mesin freezer yang digunakan untuk pedagang es krim ini menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap. Komponen utama dari siklus refrigerasi kompresi uap adalah kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Parameter performansi yang penting dari siklus refrigerasi kompresi uap adalah koefisien performansi dan konsumsi energinya.

2.2 Koefisien Performansi (COP)

Koefisien performansi, COP merupakan energi yang dapat dimanfaatkan, yang dirumuskan dengan efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan oleh sistem, berupa kerja kompresi. COP dinyatakan dengan rumusan:

$$COP = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \quad (1)$$

2.3. Konsumsi Energi (E_c)

Untuk menghitung konsumsi energi (E_c) digunakan rumusan:

$$E_c = (V \times I \times \text{Cos } \varphi) \times t \quad (\text{kJ}) \quad (2)$$

dimana:

V = tegangan listrik (Volt)

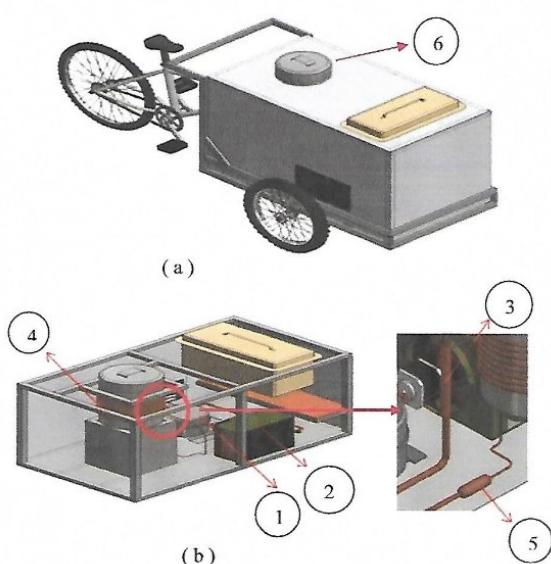
I = arus listrik (Amper)

$\text{Cos } \varphi$ = faktor daya.

t = waktu (minut)

3. Metoda Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui uji eksperimen pada prototipe mesin *freezer* es krim keliling yang dirancang dengan kapasitas kompresor 1/10 HP dengan menggunakan refrigeran MC134. Ukuran pipa kapiler ditentukan dengan menggunakan program aplikasi *CapTube 1.0.8.0* dimana didapatkan pasangan diameter dan panjang pipa kapiler yaitu diameter 0.028 inch dan panjang 1,452 m. Evaporator yang digunakan mempunyai luas bidang perpindahan panas 5,1 feet² dengan diameter luar pipa tembaga 3/8 inch dan panjang pipa 15,8 meter. Pipa evaporator dibentuk menjadi koil dan dibelitkan pada dinding bagian luar boks es krim.

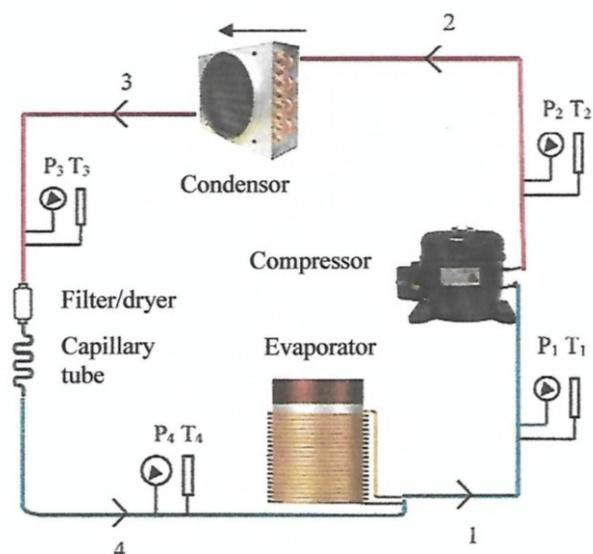


Gambar 3. Rancangan mesin freezer es krim keliling

Keterangan: (1) Kompresor, (2) Kondensor, (3) Pipa kapiler, (4) Evaporator, (5) Filter/dryer, (6) ice cream box

Tekanan dan temperatur diukur pada 4 titik pengukuran yang sudah terpasang pada prototipe mesin freezer es krim keliling. Untuk temperatur ditambahkan pengukurannya pada 2 titik lagi yaitu ditengah-tengah evaporator dan ditengah-tengah kondensor. Tekanan diukur dengan menggunakan oil pressure gauge dalam satuan Psig. Sedangkan temperatur diukur dengan termokopel tipe K yang dihubungkan dengan *temperature display* dalam satuan °C.

Untuk menentukan COP dari R-134a akan digunakan bantuan program aplikasi Mollier Chart 1.2.0.3, sedangkan untuk menentukan COP dari MC-134 menggunakan diagram P-h dari MC134 karena belum ditemukan program aplikasinya.



Gambar 4. Diagram pemipaan dan penempatan alat ukur

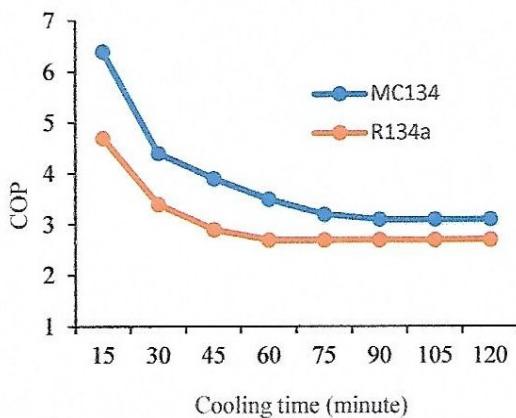
4. Hasil dan Pembahasan

Karena refrigeran hidrokarbon MC134 ini digunakan sebagai pengganti refrigerant R134a, maka selain pengujian refrigerant hidrokarbon MC134, pengujian juga dilakukan pada refrigerant R-134a. Kedua jenis refrigeran tersebut diuji pada kondisi yang sama. Dari pengujian kedua jenis refrigeran pada mesin freezer penjual es krim keliling, massa optimum refrigeran HFC-134a yang terisi ke dalam sistem adalah 202 gram sedangkan massa optimum untuk refrigeran MC134 adalah 155 gram. Dilihat dari massa refrigerannya, massa optimum MC134 adalah sebesar 76,7% dari massa optimum HFC-134a. Hasil pengujian berupa performansi sistem dan konsumsi energi akan dijelaskan pada grafik di bawah ini.

4.1 Variasi COP dan waktu pendinginan

Dari Gambar 5 di atas dapat dilihat bahwa kurva untuk R-134a dan MC134 pada awal pendinginan kurva COP-nya lebih besar. Namun semakin lama waktu pendinginan kurva COP-nya menurun dan cenderung konstan setelah menit ke 60. Hal ini disebabkan karena semakin lama pendinginan temperatur evaporator terus menurun sampai mencapai temperatur -19°C. Rata-rata COP untuk R134a adalah 2,7 dan COP untuk MC134a adalah 3,1. Kurva untuk R-134a dan MC134 terlihat identik, sehingga dapat

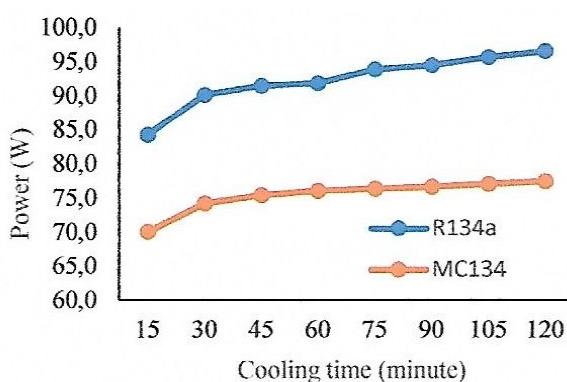
dikatakan bahwa MC134 sangat cocok digunakan sebagai pengganti dari R-134a. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rusmaryadi dkk [6].



Gambar 5. Variasi COP dan waktu pendinginan

4.2 Variasi daya listrik dan waktu pendinginan

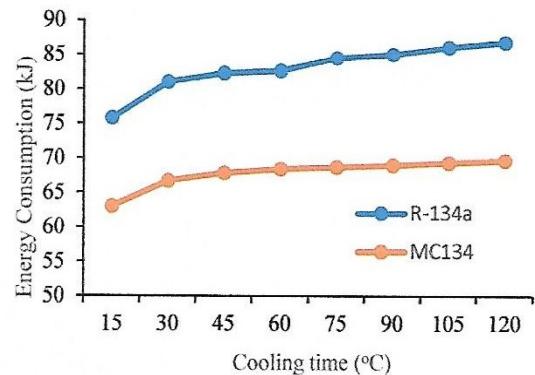
Dari Gambar 6 di atas dapat dilihat bahwa pada awal pendinginan daya yang dibutuhkan dengan menggunakan refrigeran R-134a maupun MC134 lebih kecil. Hal ini disebabkan karena rasio kompresinya masih kecil, namun lama kelamaan dengan bertambahnya waktu pendinginan, daya yang dibutuhkan cenderung naik. Sampai pada menit ke 75 kenaikan daya sudah semakin melambat dan cenderung mencapai nilai konstan. Daya rata-rata yang dibutuhkan kompresor untuk R-134a adalah 92,2 W sedangkan untuk MC134 adalah 75,3 W. Jadi dengan menggunakan refrigeran MC134 penggunaan daya listrik lebih hemat 18,8%. Hasil dari penelitian ini sangat sejalan dengan hasil-hasil penelitian dari berbagai sumber.



Gambar 6. Variasi daya dan waktu pendinginan

4.3 Variasi konsumsi energi dan waktu pendinginan

Dari Gambar 7 di bawah terlihat bahwa kurva konsumsi energi dan waktu pendinginan identik dengan kurva daya listrik dengan waktu pendinginan (Gambar 6). Hal ini disebabkan karena untuk menghitung konsumsi energi tergantung pada daya listrik dan lama waktu pengujian. Jadi konsumsi energi rata-rata dengan menggunakan refrigeran R-134a adalah 83 kJ sedangkan dengan menggunakan refrigeran MC134 adalah 67,8 kJ.



Gambar 7. Variasi konsumsi energi dan waktu pendinginan

4. Kesimpulan

Refrigeran hidrokarbon sangat tepat dimanfaatkan sebagai refrigeran pengganti untuk refrigerant sintetik seperti HFC dan HCFC karena memiliki kinerja yang lebih baik dan tidak berdampak pada pemanasan global. Refrigeran MC134 yang diisikan ke dalam sistem memiliki massa yang lebih rendah dibandingkan dengan R134a yaitu 23,3% lebih kecil sehingga kerja kompresor lebih rendah. COP refrigeran MC134 adalah 3.1 sedangkan R134a adalah 2.7. Konsumsi energi refrigeran MC134 lebih rendah dari R134a yaitu 28%, sehingga refrigeran MC134 sangat tepat digunakan sebagai pengganti refrigerant dari R134a.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dan dukungan dari teman-teman peneliti, serta unit publikasi P3M Politeknik Negeri Bali yang telah membantu penyelesaian dan publikasi paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] Baharudin, "Perbandingan Performansi Pada Mesin Showcase Buah Menggunakan Fluida Kerja R134a dan MC134", Jurnal Petra, 5(2), 2018
- [2] B C Purnomo, M. Setiyo, B. Waluyo, Saifudin, N. Widodo, "Characteristics of Vapor Compression Refrigeration System with Parallel Expansion Valves using Refrigerant Musicoool134", The 2nd International Conference on Engineering and Applied Technology/IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 674, 2019, 012006.
- [3] B. C Purnomo, M. Setiyo, "Karakteristik Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Dengan Refrigeran Campuran Musicoool 134 - CO₂", Jurnal Teknologi, UNMUH, 2017.
- [4] D.V.R. Reddy, B. Panitapu, "Hydrocarbon Refrigerant Mixtures as an Alternative to R134a in Domestic Refrigeration System", The State-of-the-Art Review, 2016, <https://www.researchgate.net/publication/302435899>.
- [5] Hendri, Prayudi, R. Nurhasanah, "Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Evaporasi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran R134a dan MC134", Proseding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII), 2014.

- [6] H. Rusmaryadi, I. Badil, A. Mu'in, B. Kharisma, "Studi Perbandingan Kinerja Freezer 1/5 PK Dengan R134a dan Musicool (MC-134)", Turbulen: Jurnal teknik Mesin, 2(2), 2019, 68-74.
- [7] J. H. Koh, Z. Zakaria, D. Veerasamy, "Hydrocarbon as Refrigerants – A Review", Asian Journal on Science and Technology for Development, 2017.
- [8] J. Koh, Z. Zakaria, D. Veerasamy, "Overview of the Use of Hydrocarbon Refrigerant in Air Conditioning Systems", Chemical Engineering Transactions. A Publication of AIDIC, 2017.
- [9] M.S. Emani, B.K. Mandal, "The Use of Natural Refrigerant in Refrigeration and Air Conditioning Systems: A Review", International Conference on Mechanical, Materials and Renewable Energy, IOP Conf. Series: Material Science and Engineering, 377, 2018, 0102064.
- [10] S.C. Parashurama, A. Saleel, M.S. Govindegowda, A. Khan, "Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 8, 2019.
- [11] P. Saksono, Gunawan, "Penggunaan Refrigeran Hidrokarbon Sebagai Refrigeran Alternatif yang Ramah Lingkungan dan Hemat Energi", Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri, Malang, 2019.
- [12] P. Suparman, V. Antono, R. Nurhasanah, "Effect Degree of Temperature Subcooling in The Performance of Refrigeration with CFC, HFC, and Hydrocarbon Refrigerant", Matec Web Conferences, 101, 2017, 03002.
- [13] R.V. Gerwen, A. Gerrard, F. Roberti, "Ice Cream Cabinets Using a Hydrocarbon Refrigerant: From Technology Concept to Global Rollout", 8th HR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids. Copenhagen, 2008.
- [14] T. Hidayat, Msi, "Potensi Perolehan Penghematan Energi Listrik Pada Kulkas Dengan Konversi Dari R-134a ke Hidrokarbon MC-134 Untuk Dialokasikan di Rumah Tipe Sederhana", 2019, <https://musicoolpromo.com/article/18>
- [15] W.P. Marsis, A. Haris, "Pemilihan Fluida Pendingin Pada Mesin Pendingin Ikan (Freezer) Kapasitas 1 Ton", Sintek, 6(1), (2012), 1-10.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Deteksi api kebakaran berbasis *computer vision* dengan algoritma YOLO

I Gede Suputra Widharma^{1*}, Putri Alit Widayastuti Santuary¹, I Nengah Sunaya¹, I Ketut Darminta¹, I Gde Nyoman Sangka¹ dan Putu Ardy Wahyu Widiatmika¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia

*Email: suputra@pnb.ac.id

Abstrak

Kebakaran adalah suatu yang terjadi akibat adanya api yang tidak ditangani dengan baik dan cepat. Kejadian ini sangat berbahaya mengingat berpotensi menimbulkan kerugian materil dan korban jiwa. Berbagai sistem pendekripsi api kebakaran telah dikembangkan untuk mendekripsi dan mencegah kebakaran. Selama ini banyak penelitian pendekripsi api menggunakan sensor api dan asap, dan lainnya, tetapi hal itu saja tidak cukup. Dibutuhkan alat yang sekaligus bisa mendekripsi api dan mengetahui bagaimana kondisi keadaan saat terjadi kebakaran. Semakin berkembangnya teknologi, penggunaan *computer vision* dimanfaatkan untuk mendekripsi api kebakaran secara *real-time*. Selain dapat mendekripsi api, sistem juga dapat memberikan gambaran keadaan terkini saat terjadi kebakaran melalui kamera. Pada penelitian dirancang deteksi api kebakaran berbasis *computer vision*. Dimana menggunakan algoritma *You Only Look Once* (YOLO) untuk mendekripsi api kebakaran serta disertai notifikasi telegram dan buzzer. Pada pengujian deteksi api menggunakan 4 sumber api yang berbeda yaitu lilin obor kecil, obor besar dan sabut kelapa. Dari data pengujian deteksi api di berbagai *background* mendapatkan hasil nilai *accuracy* sebesar 0.8, *precision* sebesar 1 dan *recall* 0.8 pada siang hari. Sedangkan pada malam hari mendapatkan hasil *accuracy* sebesar 0.96, *precision* sebesar 1 dan *recall* 0.96. Tingkat nilai *accuracy* dan *recall* pada pengujian berbagai jarak menghasilkan sistem deteksi api akan mengalami penurunan seiring jauhnya jarak api dengan kamera. Untuk nilai *precision* menghasilkan nilai 1 di berbagai jarak pada siang dan malam hari. Itu berarti ketepatan hasil klasifikasi sebesar 100 %. Nilai *precision* yang stabil tersebut dipengaruhi oleh pembacaan deteksi api, dimana sistem tidak pernah mendekripsi objek lain sebagai api.

Kata kunci: YOLO, computer vision, deteksi, kebakaran

Abstract: Fire is something that occurs as a result of a fire that is not handled properly and quickly. This incident is very dangerous considering the potential to cause material losses and loss of life. Various fire detection systems have been developed to detect and prevent fires. So far, many kinds of research on fire detection use fire and smoke sensors, and others, but that alone is not enough. It takes a tool that can detect a fire at the same time and know-how the conditions are when a fire occurs. With the development of technology, the use of computer vision is used to detect fires in real-time. Besides being able to detect fires, the system can also provide an overview of the current state of the fire through the camera. In this study, a computer vision-based fire detection was designed. Where it uses the You Only Look Once (YOLO) algorithm to detect fires and is accompanied by telegram notifications and buzzers. In the fire detection test, 4 different fire sources were used, namely small torch candles, large torches, and coconut fiber. From the test data for fire detection in various backgrounds, the accuracy value is 0.8, precision is 1 and recall is 0.8 during the day. While at night, the accuracy is 0.96, precision is 1 and recall is 0.96. The level of accuracy and recall values in testing various distances results in a fire detection system that will decrease as the distance between the fire and the camera is far away. The precision value produces a value of 1 at various distances during the day and night. That means the accuracy of the classification results is 100%. The stable precision value is influenced by fire detection readings, where the system never detects other objects as fire.

Keywords: YOLO, computer vision, detection, fire

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Kebakaran merupakan suatu peristiwa yang timbul dikarenakan adanya api yang tidak terkontrol atau tidak terkawal. Kejadian ini sangat berbahaya karena berpotensi menimbulkan korban jiwa dan kerugian materil. Apabila api

sudah membesar dan tidak terkendali akan sangat sulit untuk cepat dipadamkan, apalagi jika daerah kebakaran tersebut jauh dan sulit dijangkau oleh mobil pemadam kebakaran. Penyebab kebakaran dapat dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu Kelas A yang disebabkan oleh benda yang

mudah terbakar yaitu kayu, kertas, karet, dll. Sedangkan untuk Kelas B yang disebabkan oleh cairan yang mudah terbakar seperti bensin, oli, spritus, dan cairan lain yang mudah terbakar. Pada Kelas C dimana disebabkan oleh konslet pada aliran listrik [1]. Terjadinya api menimbulkan kebakaran disebabkan ketiga elemen oksigen, panas dan bahan bakar saling bertemu satu sama lain, apabila ketiga unsur tersebut tidak bertemu maka titik api tidak akan terjadi [2]. Dari paparan tersebut untuk mengantisipasi adanya kerugian materil dan korban jiwa yang disebabkan oleh bencana kebakaran maka dibutuhkan sistem untuk mendeteksi kebakaran sebagai peringatan sedini mungkin terhadap indikasi kebakaran. Selama ini banyak penelitian mendeteksi api menggunakan sensor api dan asap, dan lainnya, tetapi hal itu saja tidak cukup. Dibutuhkan alat yang sekaligus bisa mendeteksi api dan mengetahui bagaimana kondisi keadaan saat terjadi kebakaran.

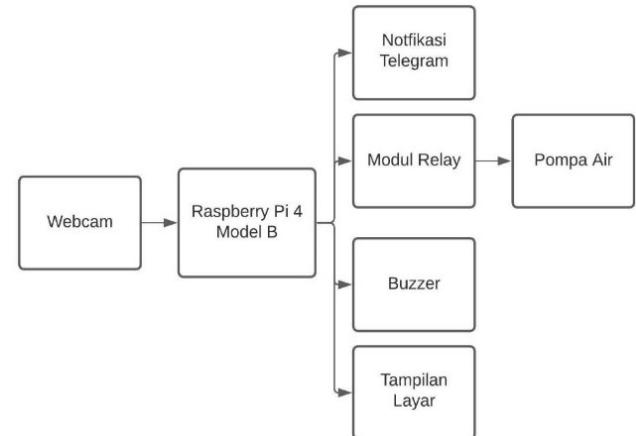
Deteksi api merupakan salah satu teknologi yang saat ini dikembangkan seiring perkembangan teknologi yang sangat cepat dan diikuti dengan perkembangan di bidang *Artificial Intelligence* (AI) atau Kecerdasan Buatan. Salah satu cabang AI salah satunya yaitu *computer vision*. *Computer vision* tentunya tidak lepas dari penggunaan library OpenCV. OpenCV merupakan *library open source* yang tujuannya dikhususkan untuk melakukan pengolahan citra [3]. Penggunaan *computer vision* dalam alat mendeteksi kebakaran sangat penting, karena dengan menggunakan *computer vision* petugas akan mengetahui keadaan ruangan atau gedung yang terbakar. Informasi keadaan tersebut dapat berguna bagi tim pemadam untuk mengetahui kondisi lapangan dan bisa menentukan rencana/tindakan yang akan diambil. Sampai sekarang sudah banyak penelitian-penelitian yang mengarah kepada permasalahan ini. Salah satunya sebagai berikut, A. Zarkasi, et al [4] dengan judul *Implementation Of Fire Image Processing for Land Fire Detection Using Color Filtering Method* dan Hatekar.A, et al [5] dengan judul *Fire Detection on a Surveillance System Using Image Processing*. Di dalam kedua penelitian tersebut membahas tentang seberapa akurat mendeteksi api dengan menggunakan metode filter warna atau RGB. Dari penelitian yang dilakukan Zarkasi, didapatkan hasil api terdeteksi jika jarak kamera dengan api di bawah 7 meter. Kelemahan dari kedua penelitian tersebut adalah menurunnya tingkat akurasi mendeteksi api jika digunakan di luar ruangan. Pada penelitian A. R. Warsil, et all dengan judul *Pembuatan Pendekripsi Obyek Dengan Metode You Only Look Once (YOLO)* untuk *Automated Teller Machine* (ATM) [6], membahas tentang mendekripsi benda-benda yang terlarang ketika berada di ATM seperti helm. Penelitian ini menggunakan metode *You Only Look Once* (YOLO) yang dapat mengenal obyek-obyek yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini dibuat sistem mendekripsi api sedini mungkin di dalam ruangan berbasis *image processing* yang menggunakan Raspberry Pi B+ dengan memanfaatkan kamera untuk mengambil gambar. Untuk mendekripsi api, metode *image processing* yang digunakan yaitu metode YOLO (*You only look once*). Dalam penerapannya alat ini nantinya bisa mendekripsi api yang berada di dalam ruangan ataupun luar ruangan. Objek api yang terdeteksi kamera nantinya akan dicocokkan dengan dataset yang sudah disiapkan. *Dataset* ini merupakan hasil *training* AI, dimana AI diajarkan untuk mengenal api dengan berbagai gambar

dan latihan pengenalan yang berulang-ulang. Jika gambar tangkapan kamera memiliki kecocokan dengan api, maka api yang terdeteksi akan ditandai. Setelah api terdeteksi, pompa air dan buzzer akan aktif sehingga api dapat dipadamkan dengan air dan para penghuni gedung akan mengetahui adanya kebakaran. Dengan mendekripsi api berbasis *computer vision* diharapkan bisa menjadi deteksi dini terjadinya kebakaran dan sekaligus dapat memberikan gambaran terkini keadaan pada gedung/ruangan yang terjadi kebakaran. Sehingga dapat dijadikan acuan untuk membuat keputusan/rencana untuk petugas keamanan gedung/pemadam kebakaran berdasarkan kondisi terkini.

2. Metode dan Bahan

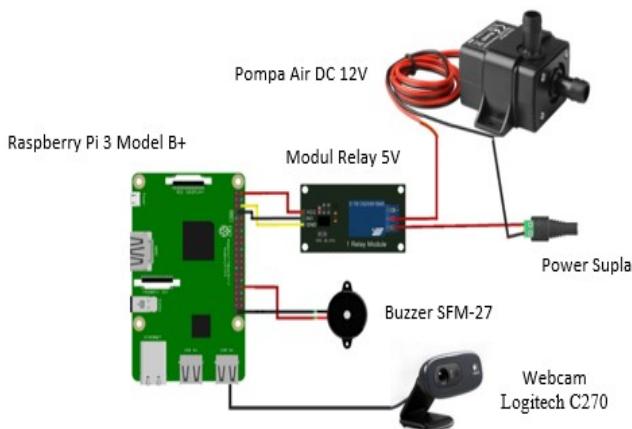
Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendekripsi api kebakaran dengan menggunakan metode YOLOv3-tiny dengan menggunakan *pre-trained weight* dan model dari darknet *open source* YOLO. Sehingga perlu menyesuaikan kebutuhan *software* dan *hardware* dalam mengimplementasikan YOLOv3-tiny dari darknet untuk *dataset* yang digunakan dalam penelitian. Proses uji coba dilakukan dengan melakukan proses pengujian metode dengan menguji beberapa kondisi. Proses uji coba dilakukan untuk mengetahui batasan deteksi api. Sedangkan proses evaluasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan kinerja model dan untuk menganalisis hasil uji coba validasi. Validasi kinerja program dilakukan dengan menghitung seberapa besar nilai akurasi klasifikasi objek.



Gambar 1. Diagram Balok Perancangan Hardware

Pada Gambar 1 merupakan diagram balok perancangan *hardware*, terdapat perangkat yang digunakan yaitu menggunakan kamera webcam, Raspberry Pi 4 Model B sebagai otak untuk mengendalikan kerja sistem. Tangkapan gambar dari kamera webcam akan diterima oleh Raspberry Pi 4 Model B sebagai data. Data yang diterima dari kamera akan diolah dengan menggunakan *image processing* OpenCV untuk memberikan *output*. Pada bagian *output* terdiri atas buzzer dan pompa air. Dalam penerapannya alat ini nantinya bisa mendekripsi api yang berada di dalam ruangan ataupun luar ruangan. Cara kerja alat yaitu, webcam akan menangkap gambar sekitar dan tangkapan gambar tersebut akan diterima oleh Raspberry Pi 4 Model B. Data tersebut akan diolah menggunakan *image processing* dan dicocokkan dengan *dataset* yang sudah dilatih di Google Colab. Jika gambar tangkapan kamera

memiliki kecocokan dengan api, maka api yang terdeteksi akan ditandai. Setelah itu Raspberry Pi 4 Model B akan menghidupkan buzzer dan menutup anak kontak dari modul relai sehingga pompa air akan aktif sehingga api dapat dipadamkan dengan air dan para penghuni gedung akan mengetahui adanya kebakaran. Untuk notifikasi, *User* akan dikirimkan notifikasi melalui aplikasi telegram sehingga dapat mengetahui adanya kebakaran. Ketika api tidak terdeteksi lagi, maka pompa air dan buzzer akan mati. Pada Gambar 2 disajikan *wiring* komponen.

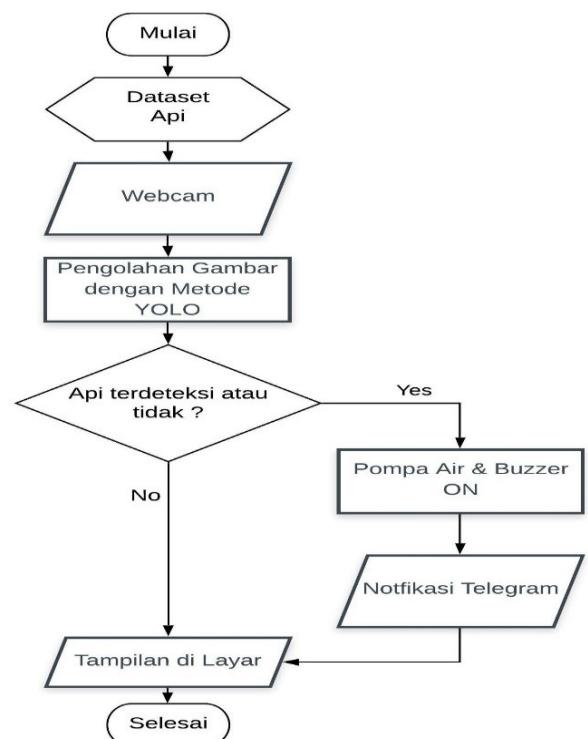


Gambar 2. Komponen wiring

Pada pembuatan alat ini terdapat beberapa komponen-komponen yang digunakan yaitu:

- a. Raspberry Pi 4 Model B
 - b. Modul relai 5V 1 channel
 - c. Buzzer SFM-27 DC 3-24V
 - d. Webcam logitech C270
 - e. Pompa air TJ1600
 - f. Power suplai
 - g. Kabel jumper dupont dan kabel NYAF 1.55mm

Berdasarkan flowchart pada Gambar 3, webcam merupakan alat yang digunakan sebagai alat pengambil gambar yang nantinya akan dideteksi. Kemudian hasil dari pengambilan gambar tersebut diproses dengan menggunakan metode YOLO (*You Only Look Once*) dengan menggunakan *dataset* yang digunakan untuk melakukan *transfer learning* atau pencocokan gambar yang sudah dilatih pada *dataset*. Disini terdapat kondisi yang pertama adalah apabila ada api yang terdeteksi dan yang kedua adalah apabila api tidak terdeteksi. Apabila api terdeteksi, maka proses selanjutnya adalah menghitung keakuratan gambar yang ditangkap oleh kamera. Setelah proses perhitungan selesai maka hasil yang sudah didapatkan nantinya akan ditampilkan di layar dan buzzer akan berbunyi. Lalu notifikasi untuk *user* akan dikirim melalui telegram. Namun jika api tidak terdeteksi maka tampilan kondisi yang ditangkap kamera akan ditampilkan di layar. Alat ini dirancang untuk ditempatkan pada ruangan/pabrik yang terdapat kategori benda-benda penyebab kebakaran yaitu kelas A (kayu, kertas, karet, dan lain-lain) dan kelas B (bensin, oli, solar, spiritus, dan cairan lain). Untuk memaksimalkan jangkauan kamera pada ruangan, kamera akan diletakkan pada sudut ruangan. Alat ini diharapkan sebagai pendeteksi api untuk mengetahui kebakaran, sehingga kejadian kebakaran dapat diminimalisir.



Gambar 3. Flowchart sistem

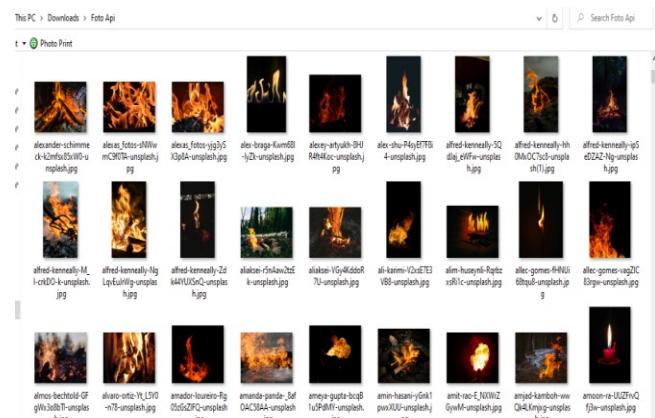
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

- a. Melatih dataset deteksi api dengan menggunakan metode YOLO
 - b. Nilai *accuracy*, *precision*, *recall* pendekripsi api pada background berbeda di skenario siang hari dan malam hari
 - c. Pengaruh jarak terhadap akurasi deteksi api
 - d. Pengujian bot telegram

3.1. Melatih dataset deteksi api

Untuk mendeteksi api dengan menggunakan metode YOLO, dilakukan dalam beberapa tahap yaitu mengumpulkan gambar/*image* api. Gambar/*image* didapatkan dari hasil *download* dari internet dan mengumpulkan foto api dari kamera. Gambar api yang dikumpulkan akan *di-labelling* menggunakan aplikasi labelimg. Gambar dan hasil label akan digunakan untuk melatih *dataset* yang dilakukan Google Colab (Gambar 4).



Gambar 4. Kumpulan gambar api

a. Mendownload gambar/images

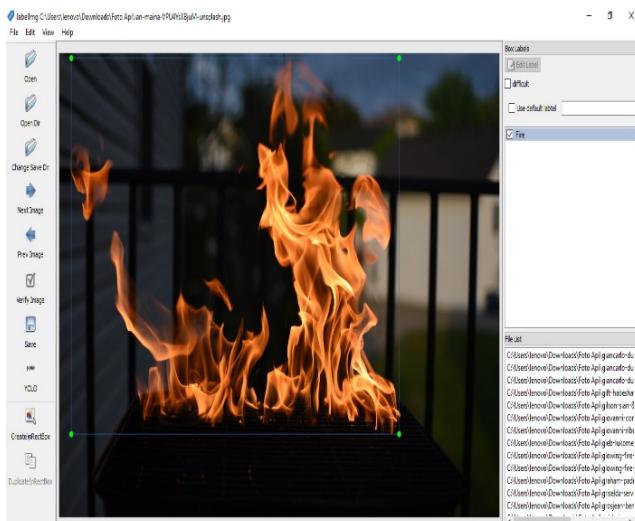
Gambar/images yang digunakan yaitu berbagai macam gambar api. Gambar yang digunakan untuk membuat dataset ini yaitu 1600 buah yang didapatkan secara manual menggunakan webcam dan hasil download dari internet. Perbandingan jumlah gambar hasil manual dan hasil download yaitu 50:50. Gambar-gambar yang sudah dikumpulkan ditempatkan dalam satu folder yang sama.

b. Proses anotasi

Sebelum melakukan proses pelatihan dan pengujian, diperlukan data anotasi. Anotasi merupakan proses memberikan label pada gambar dengan cara memberikan *bounding box* atau kotak batas beserta nama *class* pada objek disetiap citra. Anotasi data diawali dengan menggambar kotak pembatas(*bounding box*) tersebut dalam suatu file gambar. Proses pembuatan ini menggunakan aplikasi LabelImg untuk memberi anotasi pada gambar/images. Kelas yang diatur dalam penelitian ini hanya terdapat satu buah yaitu *Fire*.

Hasil *output* dari anotasi tersebut adalah sebuah file data yang memuat informasi letak kotak batas berupa kordinat anotasi dalam format file .txt. Gambar api dan hasil anotasi diletakkan pada satu folder yang sama dan diekstrak menjadi file .ZIP

Agar *training* data dihasilkan maksimal dan model yang dihasilkan memiliki akurasi yang tinggi, pelabelan yang dilakukan pada gambar/images harus melabel objek yang tidak blur atau terlihat jelas. Semakin jelas dan objek semakin tinggi juga akurasinya. Dalam pelabelan gambar, sudut pandang objek dan variasi bentuk yang beragam di dalam dataset juga harus diperhatikan agar pendekstrian nantinya memiliki akurasi yang tinggi. Berikut merupakan proses memberikan label dan hasil *labelling* pada masing-masing gambar.



Gambar 5. Kumpulan Gambar Api

c. Melatih dataset pada google colab

Proses *training* atau proses latih adalah proses dimana *Neural Network* akan dilatih untuk mempelajari suatu pola dari suatu objek yang ingin dideteksi yang nantinya dapat digunakan untuk melakukan pengenalan deteksi objek api dengan tingkat akurasi yang tinggi. Langkah pertama mengaktifkan GPU pada google colab. Setelah itu

menghubungkan Google Collab ke Google Drive dengan coding seperti pada Gambar 6.

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/gdrive')
!ln -s /content/gdrive/My\ Drive/ /mydrive
!ls /mydrive
```

Gambar 6. Koding menghubungkan Google Collab ke Google Drive

3.2. Hasil pengujian accuaration, precision dan recall

Pengujian akurasi, presisi dan recall berdasarkan skenario yang berbeda bertujuan untuk mengetahui performa deteksi api jika dihadapkan dengan kondisi yang berbeda. Hasil dari skenario dibagi menjadi dua yaitu skenario saat siang hari dan malam hari. Data yang dikumpulkan masing-masing sebanyak 75 data. Pada data hasil pengujian deteksi api pada siang hari dilakukan dengan *background* dan sudut pandang yang berbeda-beda. Data yang didapat *bounding box* dapat terbentuk di sekeliling objek api dengan menampilkan nilai *confidence*-nya.

Sedangkan pada malam hari, data didapatkan dengan melakukan deteksi dengan sudut yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil deteksi, api yang berhasil dideteksi memperoleh nilai *confidence* berkisar antara 20.61%-96.32%. Warna api yang berhasil ditangkap kamera saat malam hari memiliki perbedaan jika dibandingkan pada siang hari, dimana pada malam hari api memiliki warna api dominan putih. Hal ini dikarenakan kemampuan webcam yang terbatas sehingga tangkapan gambar yang dihasilkan mengalami *overexposure*. *Overexposure* adalah keadaan dimana image/gambar yang dihasilkan lebih cerah karena terlalu banyak sinar/cahaya yang mengenai sensor dari kamera.

Pada pengujian jarak api bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh jarak api yang bisa dideteksi dan pengaruh jarak terhadap akurasi deteksi alat. Pengujian dilakukan siang dan malam hari di ruangan setengah terbuka. Sumber api yang digunakan yaitu lilin, obor kecil, obor besar dan hasil pembakaran sabut kelapa. Sumber api diuji saat siang dan malam hari dari berbagai jarak dimulai dari 0.25m-7m. Pada masing-masing jarak dilakukan 15 kali pengujian. Pada siang hari deteksi api lilin jarak maksimal yang bisa dideteksi hanya sampai 1 meter dan untuk malam hari bisa sampai 3.5 meter. Api obor kecil pada siang hari bisa mendeteksi api sampai jarak 4 meter dan pada saat malam bisa sampai 7 meter. Api obor besar pada siang hari bisa mendeteksi api sampai jarak 5.5 meter dan pada saat malam bisa sampai 7 meter. Sedangkan untuk api hasil pembakaran sabut kelapa dapat dideteksi sampai 7 meter pada siang hari.

3.3. Pembahasan

Menganalisa hasil dari pengujian adalah sesuatu yang penting karena menggambarkan seberapa baik sistem dalam melakukan klasifikasi data. Pengukuran kinerja menggunakan *confusion matrix* dimana hasil dari deteksi api akan digolongkan menjadi empat bagian yaitu *true positive* (TP), *true negative* (TN), *false positive* (FP), dan *false negative* (FN). Berdasarkan hasil tersebut akan diperoleh nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall*. *Accuracy* merupakan pengukuran seberapa benar sebuah sistem dapat

mengklasifikasi dari keseluruhan. *Precision* merupakan perbandingan jumlah data yang kategori positif yang diklasifikasikan secara benar oleh sistem dan keseluruhan data yang terkласifikasi positif. Sedangkan *Recall* merupakan pengukuran untuk data dengan klasifikasi positif yang benar oleh sistem.

3.3.1. Pengujian akurasi, presisi dan recall berbagai background

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* dari deteksi api pada background yang berbeda pada siang hari dan malam hari. Seluruh gambar yang didapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu hasil deteksi saat siang hari dan malam hari. Dari 2 kelompok data tersebut akan dilakukan perhitungan nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* yang kemudian hasil perhitungan semua nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* dirata-ratakan. Berikut perhitungan nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* dari 2 kelompok tersebut:

a. Siang hari

Pengujian sistem yang dilakukan terhadap deteksi api mendapatkan hasil seperti Tabel 1. Hasil deteksi api pada siang hari berjumlah 75 data. Dari 75 data, api yang dikenali sebagai api berjumlah 60 data, bukan api yang dikenali sebagai api tidak ada, api yang dikenali sebagai bukan api berjumlah 15 data, dan bukan api yang dikenali sebagai bukan api tidak ada. Maka dapat dibuat *confusion matrix* untuk deteksi api pada siang hari seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Deteksi pada Siang Hari

Terdeteksi	Real	
	Api	Bukan Api
Api	60	0
Bukan Api	15	0

Accuracy yang didapatkan adalah 0,8. Nilai tersebut menunjukkan bahwa data terkласifikasi secara benar sebesar 80 %. *Precision* merupakan perbandingan jumlah data yang kategori positif yang diklasifikasikan secara benar oleh sistem dan keseluruhan data yang terkласifikasi positif. Nilai *precision* yang dihasilkan adalah 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ketepatan hasil klasifikasi adalah sebesar 100 %. *Recall* adalah proporsi kasus positif yang sebenarnya diprediksi positif secara benar. Nilai *recall* yang dihasilkan adalah 0,8. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan mengenali suatu data dari seluruh data yang dikenali adalah sebesar 80%.

b. Malam Hari

Pengujian sistem yang dilakukan terhadap deteksi api mendapatkan hasil seperti Tabel 4.2. Hasil deteksi api pada malam hari berjumlah 75 data. Dari 75 data, api yang dikenali sebagai api berjumlah 72 data, bukan api yang dikenali sebagai api tidak ada, api yang dikenali sebagai bukan api berjumlah 3 data, dan bukan api yang dikenali sebagai bukan api tidak ada. Maka dapat dibuat *confusion matrix* untuk deteksi api pada siang hari seperti Tabel 2. *Accuracy* yang didapatkan adalah 0,96. Nilai tersebut menunjukkan bahwa data terkласifikasi secara benar sebesar 96 %.

Precision merupakan tingkat ketepatan antara informasi yang diminta oleh pengguna dengan jawaban yang diberikan oleh sistem. Nilai *precision* yang dihasilkan adalah 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ketepatan hasil klasifikasi adalah sebesar 100 %.

Tabel 2. Hasil Deteksi pada Malam Hari

Terdeteksi	Real	
	Api	Bukan Api
Api	72	0
Bukan Api	3	0

Recall adalah proporsi kasus positif yang sebenarnya diprediksi positif secara benar. Nilai *recall* yang dihasilkan adalah 0,96. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan mengenali suatu data dari seluruh data yang dikenali adalah sebesar 96%.

3.3.2. Analisa keseluruhan

Dari pengolahan data nilai *accuracy*, *precision* & *recall* pada percobaan deteksi api pada background yang berbeda-beda pada siang hari dan malam hari diatas maka dapat dibuat tabel nilai perbandingan *accuracy*, *precision* dan *recall* pada deteksi api saat siang hari dan malam hari seperti Tabel 3.

Dari pengujian sistem yang dilakukan pada siang hari dan malam hari, rata-rata *accuracy* yang didapatkan adalah 0,88. Nilai tersebut menunjukkan bahwa data terkласifikasi secara benar sebesar 88 %.

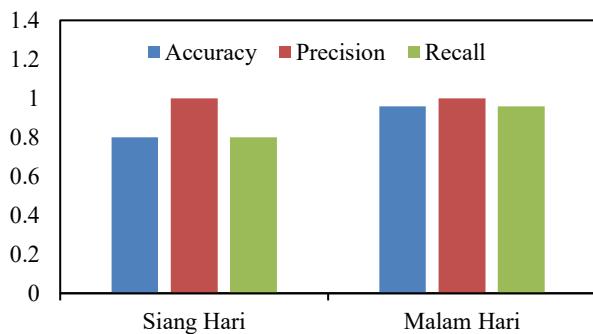
Tabel 3. Perbandingan deteksi pada siang dan malam hari

No	Kondisi	Accuracy	Precision	Recall
1	Siang Hari	0,8	1	0,8
2	Malam Hari	0,96	1	0,96
	Rata-rata	0,88	1	0,88

Precision merupakan tingkat ketepatan antara informasi yang diminta oleh pengguna dengan jawaban yang diberikan oleh sistem. Nilai rata-rata *precision* yang dihasilkan adalah 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ketepatan hasil klasifikasi adalah sebesar 100 %. *Recall* adalah proporsi kasus positif yang sebenarnya diprediksi positif secara benar. Sedangkan nilai rata-rata *recall* yang dihasilkan adalah 0,88. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan mengenali suatu data dari seluruh data yang dikenali adalah sebesar 88%. Pada pengujian ini tidak ditemukan deteksi api yang mendeteksi api yang bukan api (*false positive*). Dari data tersebut maka dapat digambar grafik seperti yang disajikan pada Gambar 7.

Dari grafik pada Gambar 7, *accuracy* deteksi api yang tertinggi adalah saat malam hari. Hal ini disebabkan karena intensitas cahaya pada saat malam hari lebih rendah dibandingkan dengan siang hari. Warna api yang berhasil ditangkap kamera saat malam hari memiliki perbedaan jika dibandingkan pada siang hari, dimana pada malam hari api memiliki cahaya lebih tegas namun warna api yang dihasilkan putih dengan pinggiran merah. Warna api yang dihasilkan lebih dominan putih dikarenakan kemampuan webcam yang terbatas sehingga tangkapan gambar yang dihasilkan mengalami *overexposure*. *Overexposure* adalah keadaan dimana *image/gambar* yang dihasilkan sangat

cerah karena terlalu banyak sinar/cahaya yang mengenai sensor dari kamera.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Accuracy, Precession & Recall

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan:

1. Sistem pendekslan api berhasil mendekslapi dengan algoritma YOLO
2. Nilai *accuracy*, *precision* dan *recall* pada berbagai background dari percobaan siang hari berturut-turut yaitu 0.8, 1 dan 0.8. Sedangkan pada malam hari nilai *accuracy*, *precision* dan *recall* yang dihasilkan berturut-turut yaitu 0.96, 1 dan 0.96. Percobaan pada malam hari memiliki nilai yang lebih bagus dibandingkan pada saat siang hari dikarenakan background disekitar api berwarna gelap dan cahaya yang ditimbulkan api menjadi sangat kuat. Hal tersebut mengakibatkan deteksi api menjadi sangat akurat.
3. Tingkat nilai *accuracy* dan *recall* pada pengujian berbagai jarak menghasilkan sistem deteksi api akan mengalami penurunan seiring jauhnya jarak api dengan kamera. Untuk nilai *precision* menghasilkan nilai 1 di berbagai jarak pada siang dan malam hari. Itu berarti ketepatan hasil klasifikasi sebesar 100 %. Nilai *precision* yang stabil tersebut dipengaruhi oleh pembacaan deteksi api, dimana sistem tidak pernah mendekslsi objek lain sebagai api. Pendekslan tingkat *accuracy*, *precision* dan *recall* juga sangat dipengaruhi dengan besar kecilnya sumber api dan dataset yang dilatih. Jika sumber api semakin besar maka tingkat *accuracy* dan *recall* dari deteksi api juga semakin besar. Sedangkan untuk dataset, semakin bervariasi gambar yang dilatih maka ketepatan deteksi api juga semakin tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih atas bantuan atau dukungan dari teman sejawat, mahasiswa dan teknisi yang telah membantu penyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Y. Pradana, F. Utaminingrum, and W. Kurniawan, "Deteksi Titik Api Terpusat Menggunakan Kamera Dengan Notifikasi Berbasis Sms Gateway Pada Raspberry Pi", *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(12), 2018, 7183-7191, 2018.
- [2] Kelvin, P. E. Yuliana and S. Rahayu, "Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api Pada Industri Textile," 2015.
- [3] B. Santoso and R. P. Kristianto, "Implementasi Penggunaan Opencv Pada Face Recognition Untuk Sistem Presensi Perkuliahian Mahasiswa," *Sistemasi*, vol. 9, no. 2, 2020, 352.
- [4] A. Zarkasi, S. Nurmaini, D. Stiawan, Firdaus, Abdurahman, and C. Deri Amanda, "Implementation of fire image processing for land fire detection using color filtering method," *J. Phys. Conf. Ser.*, 1196(1), 2019.
- [5] A. Hatekar, S. Manwani, G. Patil, and A. Parekh, "Fire Detection on a Surveillance System using Image Processing," *Int. J. Eng. Res.*, 6(5), 2017, 121-125.
- [6] A. R. Warsil, M. S. Ghazali, and M. B. Mustafa, "Pembuatan Pendekslsi Obyek dengan Metode You Only Look Once (Yolo) Untuk Automated Teller Machine (Atm)," *Maj. Ilm. UNIKOM*, 17(1), 2019, 69-76.
- [7] A. S. A. Putra and S. M. Nasri, "Evaluasi Penerapan Keselamatan Kebakaran Menggunakan Computerized Fire Safety Evaluation System (Cfses) Pada Gedung Pendidikan Dan Laboratorium Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas Indonesia Tahun 2014," 2014.
- [8] A. S. Pratikno, "Implementasi Artificial Intelligence dalam Memetakan Karakteristik, Kompetensi, dan Perkembangan Psikologi Siswa Sekolah Dasar Melalui Platform Offline Conference," *Isbn*, pp. 18-27, 2018.
- [9] D. H. Fathoni, "Rancang Bangun Sistem Smart CCTV untuk Efektivitas Energi Berbasis Yolo CNN Dan Android di Laboratorium Otomasi PPNS," 2019.
- [10] I.G.S. Widharmo, I.N. Sunaya, "Aplikasi Sistem Akuisisi Data Pada Sistem Fire Alarm Berbasis Sistem Mikrokontroller," *Jurnal Logic*, 14(2), 2017, 126-130.
- [11] R. H. Pramestya, "Deteksi dan Klasifikasi Kerusakan Jalan Aspal Menggunakan Metode Yolo Berbasis Citra Digital," Master Thesis, 2018.
- [12] A. Rohim, Y. A. Sari, and Tibyani, "Convolution neural network (cnn) untuk pengklasifikasian citra makanan tradisional," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, 3(7), 2019, 7038-7042.
- [13] A. R. Arganata, "Analisis Perhitungan Bibit Ikan Gurame Menggunakan Webcam Dengan Metode YOLO (You Only Look Once)," 2020.
- [14] R. R. Putra and F. Antony, "Sistem Computer Vision Pengenalan Pola Angka dan Operator Matematika Pada Permainan Kartu Angka Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Perceptron," *J. Ilm. Inform. Glob.*, 9(1), 2018.
- [15] M. S. Hidayatulloh, "Sistem Pengenalan Wajah Menggunakan Metode Yolo (You Only Look Once)," pp. i-43, 2021.
- [16] M. R. Tharhan, "Rancang Bangun Aplikasi Deteksi Kerusakan Jalan Menggunakan Algoritma YOLO," Politek. Negeri Jakarta, 2020.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Investigasi pengaruh perawatan darurat pada sistem pelumasan *engine* helikopter Bell 505 Jet Ranger X di PT. Urban Air Indonesia

I Ketut Rimpung*¹ dan I Nyoman Gunung¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung Bali 80364, Indonesia
*Email: ketutrimbung@pnb.ac.id

Abstrak

Salah satu tujuan penting perawatan alat atau mesin adalah untuk menjamin keselamatan alat dan operator maupun pengguna. Disamping tujuan-tujuan ekonomis lainnya seperti memperpanjang usia pakai sehingga dapat meningkatkan produktivitas alat atau mesin. Perawatan yang tepat terhadap alat atau mesin perlu dilakukan, terlebih perawatan terhadap alat angkut atau transportasi, baik transportasi darat laut maupun udara yang dapat menyangkut keselamatan orang dan lingkungan secara luas. Penelitian ini mengemukakan masalah; mengapa dan bagaimana perawatan sangat perlu segera dilakukan terhadap sistem pelumasan mesin helikopter Bell 505 Jet Ranger X. Pelaksanaan perawatan ini dilakukan bersama oleh teknisi perusahaan Urban Air dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali yang melaksanakan praktik kerja lapangan (PKL), di PT. Urban Air Indonesia, Badung, Bali. Tujuan penelitian ini adalah; dapat menemukan penyebab kerusakan karena adanya peringatan pada sistem pelumas mesin yang disebut dengan istilah *pope out*, dan dapat melakukan perawatan yang tepat berdasarkan standar prosedur baku dari pabrik pembuat Helikopter Bell 505 Jet Ranger X. Hasilnya; perawatan dilakukan berdasarkan prosedur baku sesuai *Alert Service Bulletin* atau *ASB 506. 21 – 22 pig 1 of 5*, dan diketemukan adanya serpihan kecil-kecil logam/chip pada saringan oli sistem pelumasan mesin pesawat. Serpihan logam tersebut menghambat lajunya aliran oli pelumas, sehingga oli mengalir melalui saluran pipa bypass yang menyebabkan tekanan sistem pelumas naik. Selanjutnya menekan bagian baut pengaman yang menyebabkan terjadinya peringatan *pope out*. Sehingga, pelaksanaan perawatan sistem pelumasan mesin pesawat dapat diselesaikan dalam waktu dua hari, dan pesawat dapat dioperasikan kembali dengan baik dan aman.

Kata kunci: perawatan darurat, sistem pelumasan, helikopter

Abstract: One of the important goals of tool or machine maintenance is to ensure the safety of tools and operators and users. Besides other economic goals such as extending the service life so as to increase the productivity of the tool or machine. Proper maintenance of tools or machines needs to be carried out, especially maintenance of means of transportation or transportation, both land, sea and air transportation, which can involve the safety of people and the environment at large. This research raises the problem; why and how urgent maintenance is needed on the engine lubrication system of the Bell 505 Jet Ranger X helicopter. This maintenance was carried out jointly by the technicians of the Urban Air company and students of the Department of Mechanical Engineering, Bali State Polytechnic who carried out field work practices (PKL), at PT. Urban Air Indonesia, Badung, Bali. The aims of this research are; can find the cause of a warning in the engine lubricating system known as a *pope out*, and can carry out appropriate maintenance according to standard procedures from the Bell 505 Jet Ranger X helicopter manufacturer. The result; maintenance was carried out according to standard procedures according to *Alert Service Bulletin* or *ASB 506. 21 – 22 pig 1 of 5*, and chips were found in the aircraft engine lubrication system oil filter. The metal flakes impede the flow of lubricating oil, so that the oil flows through the bypass pipe which causes the lubricating system pressure to rise. Then press the safety bolt which causes a *pope out* warning. Thus, the maintenance of the aircraft engine lubrication system can be completed within two days, and the aircraft can be operated properly and safely again.

Keywords: emergency maintenance, lubrication system, helicopter

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Minyak pelumas mesin atau yang lebih dikenal oli mesin adalah zat yang berfungsi melumasi mesin. Oli sebagai film berfungsi untuk pendingin, peredam getaran, pembersih serta anti karat pada komponen *engine* yang bergerak [1]. Minyak pelumas pada dasarnya berasal dari

minyak bumi yang dinamakan minyak dasar (*base oil*) dan ditambahkan dengan zat-aditif.

Minyak dasar bahan pelumas terbagi menjadi dua jenis yaitu: a. Oli mineral terbuat dari oli berbahan dasar (*base oil*) yang diambil dari minyak bumi yang telah diolah dan disempurnakan dan ditambah dengan zat-zat aditif untuk meningkatkan kemampuan dan fungsinya. b. Oli Sintetis

biasanya terdiri atas *Polyalphaolifins* dibuat dari bagian terbersih dari pemilahan dari oli mineral, yakni gas. Senyawa ini kemudian dicampur dengan oli mineral [2].

Jadwal perawatan untuk penggantian oli pada helikopter Bell 505 Jet Ranger X adalah pada 600 jam terbang. Hal ini terlampir pada *maintenance manual* pada *manufaktur engine*, yaitu *enginearrius 2R*. Namun pada kenyataannya/fakta di lapangan mengungkapkan bahwa sebelum 600 jam terbang *engine oil* indikator terjadi *pre-blocked (popedout)*. Pada pengoperasian di lapangan dari unit luar yaitu sebelum 600 jam terbang indikator sudah mengidentifikasi *pre-blocked (popedout)*. Oleh karena itu *engineer* memeriksa filter oli pada *engine* tersebut dan ditemukan *enginechip*. Sehingga, *maintenance* harus segera dilakukan. Karena terjadi oil idikator *popedout* sebelum 600 jam terbang, manufaktur yaitu bell membuat *ASB (alert service bulletin)* pada seluruh unit yang dimiliki. Yaitu *one time inspection of engine oil filter*, agar para *engineer* segera melakukan inspeksi atau pun penggantian filter oli untuk menghindari dari *preblocked* tersebut. Jika ini dibiarkan dapat mengakibatkan hal yang fatal.

ASB (Alert Service Bulettin) adalah rekomendasi dari pabrik untuk melakukan sebuah prosedur/perbaikan/ penggantian suku cadang untuk menanggulangi kerusakan baik yang berasal dari pabrik atau pencegahan kerusakan karena sebablain. Menurut manufaktur *Bell (ASB_505_21_22)* menyatakan bahwa “bell telah mengkonfirmasi tentang temuan mengenai partikel yang ditemukan selama inspeksi *engine* rutin dan partikel ini ditemukan di filter oli mesin”.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat dirumuskan permasalahan yang akan dikaji yaitu; mengapa perawatan darurat pada sistem pelumasan mesin helikopter Bell 505 jet Ranger X harus segera dilakukan. Bagaimana urutan proses pelaksanaan perawatan darurat yang mesti dan harus dilakukan terhadap sistem pelumasan mesin helikopter Bell 505 Jet Ranger X.

Dari permasalahan yang diuraikan di atas maka perlu dibatasi permasalahannya yaitu: penelitian ini merupakan penelitian penerapan di lapangan. Penelitian ini hanya dilakukan terhadap alat atau mesin yang mendapat peringatan dini sebelum jadwal waktu perawatan terencana tiba. Pembahasan penelitian ini dibatasi mengenai pelaksanaan perawatan darurat pada sistem pelumasan mesin helikopter Bell 505 Jet Ranger X, setelah terjadi peringatan dini. Pelaksanaan perawatan ini dilakukan oleh teknisi perusahaan, bersama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali yang sedang melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) pada bulan September sampai dengan Desember 2021, di PT. Urban Air Indonesia, Badung, Bali.

Tujuan penelitian ini adalah: dapat melakukan perawatan darurat yang terjadi pada sistem pelumas mesin Bell 505 Jet Ranger X secara akurat. Di samping itu, perawatan darurat di sini juga bertujuan dapat menerapkan perawatan sesuai sistem prosedur baku. Dimana, perawatan darurat helikopter Bell 505 Jet Ranger X mulai dari adanya oil idikator *popedout* sebelum 600 jam terbang, dan adanya *ASB (alert service bulletin)* dari manufaktur Bell. Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain: dapat memperkaya khasanah ilmu manajemen teknik perawatan, khususnya bagi pelaksana

perawatan darurat yang dilakukan pada mesin helicopter Bell 505 Jet Ranger X; dan dapat memberikan informasi mengenai pelaksanaan perawatan yang efektif, dalam melakukan evaluasi guna meningkatkan efektifitas penggunaan biaya.

2. Metode

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini, menggunakan metode purposive yaitu metode penentuan lokasi penelitian yang dilakukan secara sengaja dengan pertimbangan-pertimbangan tertentu [3]. Sehingga, penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan topik dan tujuan yang ingin dicapai yaitu di PT. Urban Air, Pantai Melasti, Bukit Ungasan, Badung, Bali. Pengambilan data penelitian ini dilakukan mulai dari bulan September sampai dengan bulan Desember 2021. Data penelitian ini merupakan hasil pelaksanaan perawatan mulai persiapan sampai dengan pengujian fungsi alat atau engine [5].

2.2. Jenis dan sumber data

Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah: Data kuantitatif, yaitu data yang berwujud standar prosedur baku berupa; urutan proses dan metode pelaksanaan perawatan sistem pelumas mesin pada buku petunjuk operasional dan perawatan helikopter Bell 505 Jet Ranger X, [6]. Data kualitatif, yaitu data berupa informasi kualitatif antara lain: peralatan yang dibutuhkan pada proses perawatan, sumber daya manusia atau pekerja, dan masalah lainnya yang relevan dengan penelitian ini [7].

Sumber data penelitian ini bersumber dari; data primer yaitu data yang diperoleh langsung dari obyek penelitian. Dan data sekunder, adalah data yang diperoleh dari catatan atau para pihak yang dianggap mampu memberikan informasi terkait dengan penelitian ini.

2.3 Metode pengumpulan data

Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode, yaitu: Wawancara dengan instrumen panduan wawancara (*interview guide*) yang khusus dirancang untuk merekam berbagai jenis data primer yang diperlukan dalam penelitian ini, [8]. Studi kasus yaitu metode pengumpulan data secara mendalam mengenai subyek tertentu, dengan melibatkan satu atau beberapa orang selama kurun waktu yang relatif lama [9]. Dokumentasi yaitu metode pengumpulan data dengan mencatat informasi yang relevan melalui dokumen-dokumen yang dimiliki sumber data sekunder atau lembaga terkait [10].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Cara kerja system pelumas Helikopter Bell 505 Jet Ranger X

Oli dari tangki dipompa oleh pump menuju ke oil filter, setelah itu oli mengalir menuju checkvalve untuk menyarahkan aliran oli tersebut, kemudian oli melewati sensor tekanan dan temperatur oli, kemudian oli menuju tempat pelumasan seperti bearing, gear dan aksesoris *engine* lainnya.

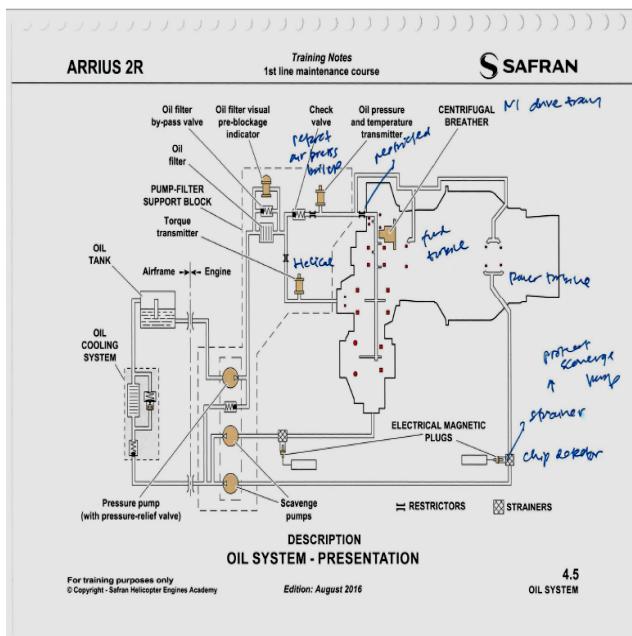
Setelah oli melumasi oli dihisap oleh pump menuju return sistem, sebelum oli masuk ke tank pertama oli melewati *chipdetector*, kemudian masuk ke oli blower dan setelah itu oli kembali memasuki tangki.

3.2. Sistem pelumas pada Helikopter Bell 505 Jet Ranger X

Fungsi komponen-komponen sistem pelumasan:

- *Oil Tank* Berfungsi untuk menampung, memasukan, membuang serta indikator untuk melihat oli. *Oil Cooling System* berfungsi sebagai pendingin dari oli tersebut berbentuk seperti *blower* yang terhubung dengan *tail rotor*. *Shaft Pressure Pump* berfungsi sebagai pompa penyulur ke seluruh sistem dari oli tersebut. *Scavenge Pump* berfungsi sebagai pompa pengembali dari oli yang telah melawati sistem.

- *Electrical Magnetic Plugs* berfungsi selayaknya magnet yang menangkap partikel besi dari sistem. *Centrifugal Breather* berfungsi sebagai penyeimbang tekanan di dalam sistem dengan tekanan udara atmosfer. *Oil Pressure and Temperature Transmiteme* berfungsi sebagai sensor pengukur sekaligus pengirim sinyal sensor menuju ECU.



Gambar 1. Sistem pelumasan mesin helikopter.

Sumber: [11]

- *Check Valve* berfungsi sebagai katup satu arah pada sistem. *Oil Filter Visual Pre-Blockage Indikator* berfungsi sebagai indikator jika sistem telah tersumbat. *Oil Filter Bypass Valve* berfungsi sebagai katup bypass ketika filter oli tersumbat. *Oil Filter* berfungsi untuk menyaring kotoran sebelum memasuki *engine*. *Torque Transmiteme* berfungsi untuk menghitung tekanan oli dalam sistem.

3.3. Engine arrius 2R turboshaft

Engine Arrius 2R Turboshaft dapat dijelaskan, yaitu merupakan *engine* yang spesial karena dengan panjang 900 mm dengan tinggi 600 mm *engine* ini dapat menghasilkan tenaga sebesar 505 HP. ARRIUS dinamai puncak Pyrenean (picd'Arrius), yang terletak di lembah Ossau dekat Pau Jerman.

Engine ini memiliki banyak sistem pendukung diantaranya: *Air system* *air system* merupakan sistem yang ada pada *engine* yang berguna sebagai *cooling* dan *breather* sebagai sistem pernafasan pada sistem pelumasan.

Fuel system merupakan sistem pencampuran bahan bakar dengan udara pada *engine*. *Control and monitoring system* merupakan sistem untuk mengontrol dan memonitor pergerakan *engine*, baik pada tekanan dan temperatur oli, sensor panas, sensor ketinggian yang akan di input ke dalam ECU.



Gambar 2. Engine arrius 2R turboshaft

Measuremen tand indicating systems adalah sistem untuk menghitung putaran turbine dan power *engine*. *Starting system* merupakan sistem yang dipergunakan untuk menghidupkan *engine*. *Electrical system* merupakan sistem kelistrikan pada *engine* sebagai wiring menuju ECU. *Engine system* merupakan sistem yang berhubungan dengan compartment *engine* dengan frame.

Troubleshooting merupakan sistem pemecahan masalah pada *engine* guna membantu engineer untuk mengatasi segala kerusakan pada *engine*. *Oil system* merupakan sistem pelumasan guna melumasi bagian-bagian *engine* yang bergerak.

3.4. Pelaksanaan pekerjaan perawatan

Pekerjaan perawatan sistem pelumasan engine helikopter Bell 505 Jet Ranger X dimulai dari datangnya *ASB* dari manufaktur.

Prosedur perawatan dan perbaikan filter oli pada helikopter Bell 505 Jet Ranger X yang dilaksanakan berdasarkan *ASB* 505-21-22. *ASB* 505-21-22 merupakan *maintenance* untuk inspeksi atau penggantian filter oli pada *Engine Arrius 2R Turboshaft* yang diberikan oleh manufaktur terhadap unit yang telah dijual, hal ini termasuk perawatan tidak terjadwal/darurat.

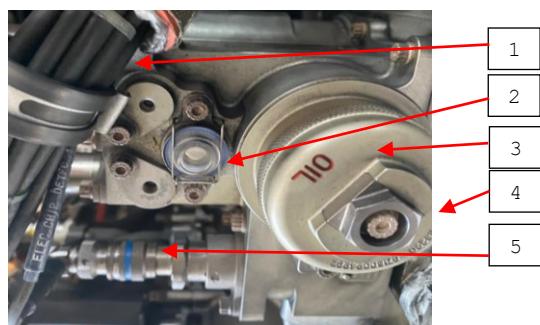
ASB (*Alert Service Bulletin*) adalah rekomendasi dari pabrik untuk melakukan sebuah prosedur/perbaikan/penggantian suku cadang untuk menanggulangi kerusakan baik yang berasal dari pabrik atau pencegahan kerusakan karena sebalain. Menurut manufaktur *Bell* (*ASB* 505-21-22) menyatakan bahwa: “*bell* telah mengkonfirmasi tentang temuan mengenai partikel yang ditemukan selama inspeksi *engine* rutin. Partikel ini ditemukan di filter oli mesin”. Pada kasus perawatan dan perbaikan di unit lain partikel ini ditemukan pada filter oli setelah indikator oli terjadi *popedout*, Hal ini terjadi karena filter telah tersumbat sebelum batas waktu yang ditentukan oleh manufaktur bahwa penggantian filter oli harus dilakukan saat pesawat sudah mencapai 600 jam terbang. Disamping

itu, *AOC* (*Air Operator Certificate*) helikopter sebelumnya juga ada melaporkan ke *manufaktur* bahwa filter oli tersumbat sebelum batas waktu yang sudah ditentukan.



Gambar 3. Alert service bulletin

Menurut manufaktur *Bell* (*ASB 505-21-22*) menyatakan bahwa: "bell telah mengkonfirmasi tentang temuan mengenai partikel yang ditemukan selama inspeksi *engine* rutin. Partikel ini ditemukan di filter oli mesin".



Gambar 4. Engine oil poped out indicator

Keterangan Gambar 4 di atas; 1. Engine ECU, 2. *Popedout indicator*, 3. Filter oli, 4. Baut 22mm, 5. *Chip Ditector*.

Pada kasus perawatan dan perbaikan di unit lain, partikel ini ditemukan pada filter oli setelah terjadi *indicator oil popedout*. Hal ini terjadi karena filter telah tersumbat sebelum batas waktu yang ditentukan. Hal inilah yang menyebabkan manufaktur mengeluarkan ASB kepada seluruh unit yang sudah dijual untuk dilakukannya inspeksi ataupun perbaikan jika ditemukannya partikel-partikel pada *engine*.

A. Langkah pembongkaran filter oli

1. Lepaskan *screw* (01-070), menggunakan kunci pass 22 mm dari *stop* (01-080) yang ada pada penutup filter oli (01-100).

2. Geser kebelakang posisi *stoplock* (01-080) dari penutup filer oli (01-100).
3. Lepaskan secara manual tutup filter oli (01-100). Gunakan *wrench* + *extension* + *socket* 7 mm.
4. Lepaskan secara manual semua perlengkapan filter oli (01-140).
5. Lepaskan dua *packing* (01-130) dan (01-120) dari tutup filter oli (01-100).
6. Lepaskan elemen filter (01-140).
7. Lepaskan dua filter *packing* (01-150) dari elemen filter (01-140).
8. Teliti filter elemen dari kotoran, *engine chip* ataupun partikel lainnya.
9. Jika terdapat kotoran, *engine chip* ataupun partikel lainnya segera ganti oli agar partikel-partikel yang ada dalam tangki dapat terkuras semua.

Pada kasus di *Urban Air* kali ini banyak ditemukan partikel *nonmagnetic* yang berasal dari tangki oli oleh karena itu filter elemen harus segera diganti. Sebelum memasang filter elemen haruslah terlebih dahulu membersihkan tangki.

B. Langkah pemasangan filter oli:

1. Lumasi *packings* (01-130), (01-120) dan (01-150) dengan *engine oil* royco 560
2. Pasang *packing*(01-150) pada filter elemen (01-140)
3. Pasang filter pada filter elemen (01-140)
4. Pasang *packing* (01-120), (01-130) pada tutup filter oli (01-100)
5. Pasang tutup filter oli (01-100) pada filter elemen dengan menggunakan kunci pass 22mm
6. Pastikan permukaan tutup filter oli (01-100) menyentuh rapat pada filtering element (01-140)
7. Majukan *stop* (01-080) pada tutup filter oli (01-100)
8. Kencangkan *screw* (01-070) pada *stoplock* (01-080) dengan torsi 20 Nm atau 177 lb
9. Kemudian tuang oli royco 560 sampai tangki terisi penuh
10. Melakukan *groundrun* check

Groundrun merupakan kegiatan yang dilakukan oleh *engineer* yang berlisensi khusus untuk memeriksa secara fungsional pengoperasian mesin atau sistem pada pesawat udara. Dari *groundrun* yang telah dilaksanakan diperoleh hasil +9 pada indikator oil pressure, serta tidak adanya indikator *enginefailure* pada instrumen helikopter. ini menunjukkan bahwa semua pengrajan telah aman dan pesawat sudah laik digunakan untuk terbang.

3.5. Analisa permasalahan

Penggantian oli pada helikopter *Bell 505 Jet Ranger X* adalah di 600 jam terbang ini terlampir pada *maintenance manual* pada *manufaktur engine* tersebut yaitu *enginearrius 2R* namun pada kenyataannya fakta di lapangan mengungkapkan bahwa sebelum 600 jam terbang *engine oil* indikator sudah *pre-blocked* (*popedout*).

Pada kenyataan di lapangan dari unit luar yaitu sebelum 600 jam terbang indikator sudah mengidentifikasi *pre-blocked* (*popedout*), setelah itu *engineer* memeriksa filter oli pada *engine* tersebut dan ditemukan *enginechip*. Sehingga, *maintenance* harus segera dilakukan. Karena pada saat oil *idikatorpopeduot* sebelum 600 jam terbang, *manufaktur* yaitu *bell* membuat *ASB* (*alert service bulletin*)

pada seluruh unit yang dimiliki. Yaitu *one time inspection of engine oil filter*, agar para *engineer* segera melakukan inspeksi atau pun penggantian filter oli untuk menghindari dari *preblocked* tersebut. Jika ini dibiarkan dapat mengakibatkan hal yang fatal.

ASB (Alert Service Bulettin) adalah rekomendasi dari pabrik untuk melakukan sebuah prosedur/perbaikan/ penggantian suku cadang untuk menanggulangi kerusakan baik yang berasal dari pabrik atau pencegahan kerusakan karena sebablain. Menurut manufaktur *Bell (ASB_505_21_22)* menyatakan bahwa “bell telah mengkonfirmasi tentang temuan mengenai partikel yang ditemukan selama inspeksi *engine* rutin. Partikel ini ditemukan di filter oli mesin”.

Analisa pada filter oli bell 505 Jet Ranger X milik PT.Urban Air Indonesia bahwa *engineer* telah menemukan nonmagnetic partikel pada filter oli mesin.

Penyebab:

Nonmagnetic partikel ini berasal dari tangki oli mesin, ini karena hasil dari sisa pemotongan plat dan pengelasan pada tangki oli mesin tersebut. Partikel ini sudah di konfirmasi oleh manufaktur.

Efek:

Nonmagnetic partikel ini jika terus dibiarkan maka akan terjadi penyumbatan pada filter elemen yang berakibat pada:

1. Tersumbatnya *oil nozzle*
2. Menghambat laju aliran oli
3. Tekanan pada sistem pelumasan akan naik
4. *Bearing* dan *gear* tidak akan terlumasi.

Solusi:

1. Periksa/ganti filter oli pada elemen pelumasan
2. Kuras dan bersihkan tangki oli mesin
3. Mengecek tekanan oli pada indikator tekanan oli di instrumen dengan cara *cranking* pada sistem
4. Melakukan *groundrun*.

4. Kesimpulan

Dari serangkaian pembahasan yang sudah diuraikan, baik pembahasan mengenai latar belakang praktek kerja lapangan, landasan teori, pembahasan secara teoritis prosedur perawatan dan perbaikan filter oli pada helikopter Bell 505 Jet Ranger X berdasarkan ASB 505-21-22 yang ditemui di lapangan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Jika terjadi kenaikan tekanan dari sistem pelumasan maka segera periksa filter oli pada helikopter, biasanya terjadi penyumbatan baik berupa debu, partikel logam ataupun non logam. Jika ini terus dibiarkan akan

berakibat *overheating* dan kemungkinan memuatinya *bearing* pada sistem.

2. Pada saat mengganti filter oli maka dibarengi dengan pengurusan oli pada sistem yaitu pada 600 jam terbang, agar sisa-sisa partikel yang terlepas dapat hilang semua pada sistem
3. Penggeraan penggantian filter oli ini terkait dengan dikeluarkannya alert service bulletin dari manufaktur karena pada unit lain sudah terjadinya indikator *popedout* yang mengindikasikan bahwa oli sudah melalui sistem *bypass* karena filter sudah mampet.
4. Perawatan dan perbaikan berlangsung selalu patuh langkah-langkah pada *maintenance* manual dan ASB Bulletin.
5. Selalu menggunakan *tools* yang *proper* agar tidak merusak komponen pada helikopter guna kelaikan helikopter mengudara.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas semua bantuan atau dukungan dari teman sejawat, teknisi, dan mahasiswa yang telah membantu penyelesaikan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim redaksi jurnal Jametech dengan telah diterapkannya artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] https://bellhelicopter.net/tp/doc/505/ASB_505-21-22/p1
- [2] <https://tools.safran-helicopterengines.com/webietp/home>
- [3] http://www.nusantara-sakti.com/news_event/fungsi_oli_pada_kendaraan_bermotor.
- [4] <https://nasional.kompas.com/read/2015/09/10/173620730/Mengenal.Bahan.Dasar.untuk.Membuat.Oli>
- [5] <http://oilmart.com/data/products/sds/1808/SDS%20Rocky%20560%2007112018%20EN%20.pdf>
- [6] <http://www.lubrita.com/news/138/671/Do-You-know-about-MIL-Specifications-and-meaning>.
- [7] <https://tools.safran-helicopter-engines.Com/webietp/home>.
- [8] <https://jurnal.unnur.ac.id/index.php/indept/article/viewFile/136/107/man>
- [9] https://bellhelicopter.sabacloud.com/Saba/Web_wdk/PRODTNT083/index/prelogin.rdf
- [10] K. Hadi, “*Teknik dan Manajemen Perawatan*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2000.
- [11] M.P. Tika, “*Metode Riset Bisnis*”, PT Bumi Aksara, Jakarta, 2006, 13220



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Kajian penerapan PLC untuk meningkatkan produktivitas proses pengisian air dan penutup botol otomatis

Putu Rizky Jaya Kusuma¹, I Ketut Parti^{1*}, I Ketut Darminta¹, dan I Nyoman Mudiana¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung Bali 80364, Indonesia

*Email: partgen@pnb.ac.id

Abstrak

Sistem pengisian air dan penutupan botol otomatis ini biasanya bisa digunakan di dunia industri, karena dapat memudahkan dan menghemat waktu penggerjaan. Untuk itu, dibuatlah mesin pengisian air secara otomatis untuk menghasilkan minuman kemasan yang praktis dan mudah di dapat. Pada mesin yang dibuat ini terdapat komponen-komponen yang sangat berperan penting dalam pengoperasian mesin otomatis ini diantaranya Programmable Logic Controller (PLC) merupakan alat kontrol yang mampu diprogram secara logika, menerima input, serta memberikan output. Dalam pembuatan alat pengisian air dan penutupan botol secara otomatis ini menggunakan 3 sensor dan 2 limit switch, setiap sensor memiliki fungsinya masing - masing. 3 (tiga) sensor tersebut meliputi: sensor konveyor, sensor rotasi, dan sensor penutupan. Limit switch pada alat ini berfungsi sebagai penghenti rotasi motor ketika botol sudah tertutup. Setelah dilakukan beberapa kali percobaan, untuk mengisi botol dengan kapasitas 600 ml membutuhkan waktu 19 detik.

Kata Kunci: Pengisian Air, Penutupan Botol, Programmable Logic Controller (PLC)

Abstract: This automatic water filling and bottle closing system can usually be used in the industrial world, because it can facilitate and save processing time. For this reason, an automatic water filling machine was made to produce packaged drinks that are practical and easy to obtain. In this machine, there are components that play an important role in the operation of this automatic machine, including the Programmable Logic Controller (PLC) which is a control device that can be programmed logically, accepts input, and provides output. In the manufacture of this automatic water filling and bottle closing device, 4 sensors and 1 limit switch are used, each sensor has its own function. The 4 (four) sensors include: conveyor sensor, rotation sensor, bottle closing sensor and reset sensor. The limit switch on this tool functions as a stop motor rotation when the bottle is closed. After several experiments, it took 13 seconds to fill a bottle with a capacity of 600 ml.

Keywords: Water filling, bottle closing, programmable logic controller (PLC)

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Dengan semakin meningkatnya kemajuan zaman yang mengakibatkan kebutuhan air minuman lebih melonjak dan manusia ingin memproleh suatu kemudahan dalam mengisi air ke dalam botol dan bisa menutup secara praktis. Terobosan penting menjadi harapan bagi semua masyarakat [1]. Mesin pengisian air otomatis yang dapat digunakan untuk mengemas minuman secara praktis dan mudah sebagai solusi tepat dalam mengatasi segala problem. Banyak masyarakat yang saat ini masih berproduksi dan berkembang bahkan sampai menambah dan mengolah rasa pada air tersebut sesuai banyaknya permintaan dan kesukaan manusia.

Untuk memudahkan sekaligus menghemat masa penggerjaan produksi, saat ini masyarakat mulai menerapkan

sistem otomasi untuk memproses suatu produk. Sistem otomasi ini mampu memberikan kinerja yang optimal dan efisien bagi rumah tangga untuk menyelesaikan proses produksi, sebab kemampuannya dalam memproduksi secara otomatis. Pembuatan mesin otomatis berfungsi untuk mengisi air ke dalam botol secara otomatis dan menutupnya.

2. Metode dan Bahan

Penelitian diawali dengan pembuatan prototipe alat pengisian air dan penutup botol otomatis berbasis PLC. Pemanfaatan PLC ini ialah bisa diterapkan di seluruh kondisi dan pengoperasiannya juga mudah dilakukan. PLC tergolong sistem pengendali berbasis CPU dengan memakai perangkat keras serta memori dalam pengendalian prosesnya. Alat pengendali (kontrol) jenis ini dirancang

guna menggantikan hardware relay dan juga timer logic dengan menggunakan sistem coding dimana semua kegiatan di atur menggunakan software CX-Programer yang dapat memudahkan kita dalam melakukan proses pembuatan program yang nantinya dapat di implementasikan ke dalam alat yang kita mau. PLC memberikan kemudahan untuk mengendalikan proses sesuai dengan pengaturan dan pelaksanaan arahan logic yang sederhana. Prinsip kerja PLC ini seperti shift register, timer, dan counter, oleh karenanya aktivitas pengendalian yang sulit, bisa direalisasikan dengan sederhana melalui penggunaan coding [2].

Programmable Logic Controller mempunyai sensor sebagai input device, kemudian output device, dan controller [3]. Beberapa fungsi khusus tersebut diantaranya ialah:

1. Peralatan tersebut mudah dilakukan pemrograman serta program ulang.
2. Bahasa pemrograman yang diterapkan lebih mudah dimengerti.
3. Tingkat sinyal [4] dan keterkaitan output dan input standar.
4. Memiliki daya tahan kuat pada setiap gangguan dan getaran [5].

Berikut adalah manfaat penerapan PLC sebagai alat otomatisasi yakni:

1. Memiliki kemampuan dan kapasitas cara kerja dilingkungan yang keras.
2. Mempunyai kehandalan yang kuat dan mampu berfungsi secara normal dalam berbagai kondisi kelembapan, fluktuasi tegangan, suhu, dan noise.[6]

Dibanding sistem konvensional, keunggulan lebih banyak diperoleh dengan menggunakan Programmable Logic Controller (PLC).[7] PLC tersusun atas tiga komponen utama yakni bagian input dan output, [8] bagian prosessor, [9] dan programing device (perangkat pemrograman). [10]



Gambar 1. PLC CPE1E

Unsur yang terletak di CPU dengan bentuk IC (Integrated Circuit) disebut dengan memori. Sifat memori adalah bisa dengan mudah dilakukan penghapusan yaitu cukup dengan memadamkan satu daya. Berikut adalah beberapa jenis semikonduktor memori, meliputi RAM, [11] ROM, [12] EPROM, [13] dan Scan [14].

Proses program PLC melalui software CX-programmer, diterapkan dengan memanfaatkan bentuk pemrograman Diagram Ladder. Pada Diagram Ladder PLC diterapkan simbol atau tanda dasar berwujud kontaktor. Berikut simbol dasar kontaktor [15]. Seluruh instruksi program adalah

perintah program paling mendasar pada PLC Omron sysmac C-seris. Berdasarkan ketentuan pemrograman.[16]

Perintah LD dan LD NOT diperlukan apabila mekanisme kerja suatu sistem kontrol cukup hanya memerlukan keadaan logic, serta telah dipaksa untuk menghasilkan 1 output.[17] Apabila pada program dalam kondisi ON sebanyak dua maupun lebih keadaan yang dikaitkan secara seri di jalur instruksi yang sama, mengakibatkan keadaan pertama menerapkan instruksi LOAD atau LOAD NOT dan kondisi lainnya memakai perintah AND atau AND NOT.

Jenis alat penutup botol otomatis berbasis PLC dapat diilustrasikan sebagai berikut:

a. Conveyor

Conveyor adalah alat sederhana yang bisa bergerak dan berpindah tempat, serta digunakan sebagai media pengangkut barang tertentu dengan daya muat kecil hingga besar. Sehingga mesin conveyor ini sering dipakai untuk mengangkut bahan-bahan industri yang bersifat padat.

b. Programmable Logic Controller (PLC)

Pengoperasian PLC dilakukan dengan mengecek input dari proses untuk memperoleh informasi mengenai statusnya, selanjutnya pemrosesan pada sinyal input berdasarkan perintah logic yang sudah diatur dalam memori, dan sebagai hasil atas proses tersebut ialah berupa sinyal output. Sinyal output akan digunakan untuk mengontrol mesin maupun peralatan lainnya.

Prinsip kinerja dari Programmable Logic Controllers (PLC) adalah menerima dan memperoleh data-data yang berasal dari peralatan input luar.

a. Motor Pompa Air Mini

Pompa air dimaknai sebagai peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan fluida atau cairan ke berbagai tempat lainnya dengan menggunakan pipa atau saluran disertai dukungan tenaga listrik guna mendorong air agar bisa dialirkan secara terus-menerus.

b. Sensor Proximity Infrared

Sensor proximity infrared ini adalah sensor untuk mendeteksi gangguan dengan memanfaatkan sinar inframerah guna memonitor permukaan maupun benda didepannya. Apabila sinar inframerah menyentuh suatu benda atau permukaan didepannya, maka sinar akan memantul sebagian. Hasil pantulan inframerah yang berbelok arah, akan menabrak sensor inframerah dengan jenis photodiode. Jenis sensor inframerah photodioda akan menghasilkan tanda bahwa didepan sensor terdapat suatu benda.

c. Motor rpm rendah

Motor dinamo rpm rendah ini hanya bisa memutar searah dan bolak balik kecepatan dari dinamo ini adalah 4rpm.

d. Solenoid Valve

Alat Solenoid Valve Pneumatic merupakan sebuah katup yang cara kerjanya dibantu oleh energi listrik. Katup ini memiliki kumparan yang berperan sebagai penggerak. Adapun fungsi dari kumparan pada katup ialah menggerakkan Plunger dengan bantuan arus AC maupun DC.

Pemrosesan atau bekerjanya mesin Solenoid valve terjadi setelah kumparan memperoleh tegangan arus listrik sejalan dengan tegangan kerja. Besar tegangan kerja pada kerja solenoid valve kebanyakan berkisar 100/200VAC, sedangkan untuk tegangan

kerja pada DC sebesar 12/24VDC. Adanya gaya magnet yang diperoleh dari kumparan solenoid menyebabkan pin akan tertarik. Ketika pin ditarik naik, cairan (fluida) akan mengalir dengan cepat dari C menuju ke unit D. Oleh karenanya, temperatur diruang C menjadi turun, dan diafragma akan terangkat saat tekanan fluida masuk. Sehingga terbukanya katup inti dan fluida mengalir dari A menuju F, guna mengamati penerapan solenoid valve pada sistem pneumatik.

e. Inverter 3 Phasa

Inverter merupakan suatu peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah listrik DC menjadi AC. Inverter juga disebut sebagai variabel speed drive (VSD) atau variabel frekuensi drive (VFD). Prinsip kerja inverter adalah mengubah input AC menjadi DC dan kemudian dijadikan AC lagi dengan frekuensi yang telah dirubah sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Dalam pembuatan alat ini, inverter ini digunakan untuk mengatur kecepatan motor 3 phasa dan menghidupkan motor 3 phasa.

f. Miniature Circuit Breaker

Miniature Circuit Breaker adalah satu diantara beberapa elemen instalasi listrik rumah yang berperan penting sebagai sistem perlindungan instalasi listrik, apabila muncul beban berlebih dan hubungan arus pendek pada listrik atau korsleting. MCB mempunya dua prinsip kerja diantaranya: (i) Thermal Tripping: pemutusan aliran arus listrik saat terjadi overload dapat dilakukan dengan melalui Thermal tripping. Model kerja thermal tripping yakni saat elemen bimetal MCB mendapatkan panas yang melampaui batas, maka akan terjadi pengembangan. Kemudian, elemen ini dapat memutus aliran arus listrik melalui switch otomatis; (ii) Magnetic Tripping: fungsi dari magnetic tripping adalah mampu menghentikan arus listrik saat terjadi korsleting (hubungan arus pendek). Adapun metode kerjanya ialah saat elemen magnet pada MCB mendapatkan panas dalam kurun waktu yang singkat, maka ia akan menghasilkan reaksi. Melalui switch otomatis, gaya magnet pada solenoid akan menghentikan arus listrik sebagai akibat dari panas yang diterima.

g. Push button

Saklar tombol tekan atau push button switch merupakan perangkat yang fungsinya memutus dan menghubungkan aliran arus listrik melalui cara kerja tekan unlock. Maksud dari sistem kerja unlock adalah berlangsungnya kerja saklar sebagai perangkat pemutus dan penghubung aliran arus listrik dilakukan setelah tombol ditekan. Ketika tombol dilepas atau dalam mendeskripsikan pendekatan yang digunakan dalam penelitian, menjelaskan definisi operasional variabel beserta alat ukur data atau cara pengumpulan data, validasi dan metode analisis. Apabila alat ukur data menggunakan kuesioner maka perlu dicantumkan hasil uji validitas dan reliabilitas instrumen tersebut. kondisi tidak ditekan, saklar akan beralih kembali pada keadaan normal.

h. Silinder Pneumatik

Pneumatik merupakan perangkat penggerak yang didukung oleh frekuensi udara. Metode kerja dari pneumatik sama seperti hidrolik, hanya saja perbedaanya ialah pada tenaga penggeraknya. Tenaga penggerak pada pneumatik memanfaatkan tekanan udara, sementara hidrolik memakai cairan oli sebagai tenaga penggeraknya. Tekanan udara berperan untuk mendukung gerakan pada cylinder kerja.

i. Relay

Relay adalah elemen elektronika berwujud saklar maupun switch elektrik yang cara beroperasinya dibantu oleh listrik dan terdiri atas dua unit utama yakni mekanikal (seperangkat kontak Switch) dan Elektromagnet (coil). Elemen elektronika ini menerapkan prinsip kerja elektromagnetik guna memberikan gerakan pada saklar, sehingga listrik dengan tegangan lebih tinggi bisa dihantarkan melalui arus listrik yang kecil (low power).

j. Limit Switch

Limit switch adalah model saklar disertai dengan katup yang berguna sebagai pengganti tombol. Cara kerja antara limit switch dan saklar Push ON adalah sama yakni hanya bisa terhubung ketika kita menekan katupnya pada batas tekan sesuai dengan yang sudah diprogramkan dan akan terputus ketika katub tidak lagi ditekan.

k. Motor Listrik 3 Phasa

Motor dalam dunia kelistrikan ialah alat yang dimanfaatkan untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi adalah tipe motor listrik yang biasanya dipakai. Motor induksi beroperasi dengan kecepatan sinkron sehingga menjadi salah satu mesin asinkronous (asynchronous motor). Maksud dari kecepatan sinkron ini adalah kecepatan bersirkulasi medan magnetik pada mesin. Faktor tekanan mesin dan jumlah kutub mesin menentukan tingkat kecepatan sinkron. Seringkali motor induksi bersirkulasi dibawah kecepatan sinkron, sebab medan magnet yang terbangun pada stator bisa menciptakan flukus pada rotor, yang mana perputaran rotor terjadi.

l. Gear Box

Gear box memiliki fungsi mengurangi beban putar yang terlalu berat pada mesin untuk menghindari kerusakan pada penggerak motor. Itulah sebabnya, komponen ini juga sering disebut dengan istilah reducer. Dalam proses kerja sebuah mesin penggerak, keberadaan peredam sangat penting karena akan menghasilkan tenaga atau torsi yang lebih baik.

m. Power Supply

Power Supply merupakan salah satu jenis perangkat keras terletak didalam perangkat komputer dan berfungsi untuk memberi suplai daya. Seringkali elemen power supply ini dijumpai pada alat chasing komputer yang bentuknya persegi.

n. Pulley

Pulley adalah elemen mesin yang berfungsi untuk meneruskan daya dari satu proses ke proses yang lain dengan menggunakan sebuah putaran pulley motor listrik: RPM/ jumlah putaran permenit. Ratio (perbandingan) pulley yang digunakan: (i) Putaran motor penggerak atau input speed di sebut N1; (ii) Putaran mesin disebut dengan output speed disebut N2.

3. Hasil dan Pembahasan

Beberapa tahapan dalam pembuatan prototipe alat pengisian air dan penutupan botol otomatis dapat dijelaskan sebagai berikut: (i) Menyusun rancangan pembuatan conveyor; (ii) Merakit conveyor dengan menggunakan bahan besi ukuran 2 mm. Untuk ukuran dari conveyor tersebut adalah: panjang conveyor 80 cm, tinggi conveyor 30 cm; lebar conveyor 20 cm; (iii) Melakukan perangkaian terhadap beberapa elemen atau komponen yang diperlukan pada conveyor; (iv) Menyusun daftar atau listing program melalui aplikasi Cx Programmer dan Flowchart; (v) Mengunggah program ke

PLC; (vi) Melaksanakan pengujian dan pemeriksaan alat [20].



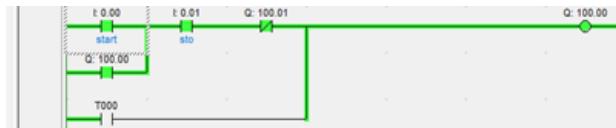
Gambar 2. Pengisian air dan penutup botol otomatis berbasis PLC

3.1. Hasil Pengujian

Pengujian alat bermanfaat untuk melihat apakah alat tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya dan mengetahui apakah setiap komponen dapat bekerja sejalan dengan spesifikasinya. Dari hasil dan temuan proses pengujian alat ini, diharapkan bisa mendapatkan data yang valid serta alat dapat beroperasi sebagaimana mestinya.

3.1.1. Pengujian conveyor

Pengujian alat ini berguna untuk mengetahui apakah konveyor tersebut dapat menjalankan botol dengan keadaan kosong dan dalam keadaan penuh. Konveyor tersebut juga di kontrol oleh sensor konveyor, dimana ketika sensor membaca object maka konveyor akan berhenti selama 13 detik dan akan berjalan kembali setelah 30 detik.



Gambar 3. Instruksi conveyor on

Cara menjalankan motor conveyor

1. Tekan tombol start dengan alamat inputnya 0.00 di normaly close NO.
2. Tekan tombol tombol start menggunakan push button atau normaly open dengan alamat 100.00 agar terhubung ke input dengan memakai simbol NO.



Gambar 4 Instruksi conveyor of

Tekan tombol stop dengan alamat 0.01 di normaly close untuk memutuskan arus agar conveyor mati.

3.1.2. Pengujian sensor konveyor

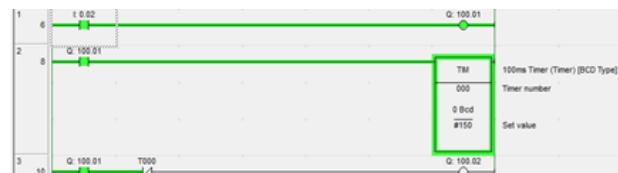
Uji sensor konveyor diaplikasikan guna melihat dan memeriksa fungsi dari sensor dapat bekerja secara optimal ataupun tidak, dimana pada alat ini sensor konveyor berguna

untuk menghentikan sementara konveyor untuk mengisi air kedalam botol sampai dengan waktu yang telah di setting di dalam PLC.

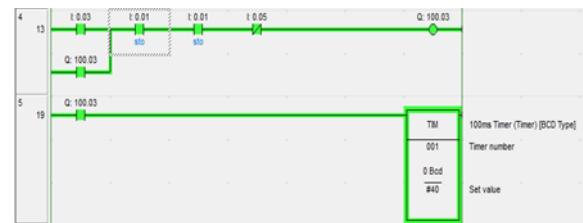


Gambar 5. Instruksi pengisian air on

Ketika sensor proximity mendeteksi adanya botol maka input dari 0.02 yang awalnya normaly open menjadi normaly close intput dari 0.02 tersebut menjalankan timer T000 selama 15 ms untuk mengisi air sampai 400 ml. jika air sudah terisi dengan batas waktu yang sudah ditentukan maka pengisian air akan mati seperti Gambar 5 sensor off.



Gambar 6. Instruksi pengisian air

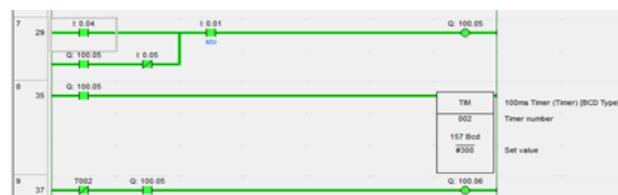


Gambar 7. Instruksi motor rotasi on

Secara otomatis prinsifnya ketika sensor proximity mendeteksi adanya benda maka alamat 00.3 yang awalnya NO menjadi NC maka timer T001 on untuk memberi delay selama 40 ms. ketika timer sudah mencapai 40 ms maka simbol T001 yang awalnya NO menjadi NC maka motor rotasi hidup dan mati selama 40 ms

3.1.3. Pengujian sensor tutup botol

Tahap aktivitas pengujian sensor ditujukan guna mengetahui kinerja sensor tutup tersebut mampu menghentikan motor sampai botol tertutup rapat maka motor rotasi akan bergerak kembali.



Gambar 8. Instruksi pengencangan tutup botol

Botol maka simbol output 0.04 menjadi NC untuk menjalankan output 100.05 kemudian selenoid menggerakan silinder kebawah selang beberapa detik

kemudian motor pengencangan on sampai batas waktu yang sudah di seting pada timer T002 selama 300 ms atau 30.

3.1.4. Pengujian limit switch

Pengujian limit switch ini bertujuan untuk menghentikan rotasi motor ketika botol sudah melalui proses penutupan selesai dan botol sudah siap untuk diambil.

3.1.5. Pengujian program timer pengisian air

Tabel 1. Pengujian air

No	Timer setting PLC	Presentasi air yang dihasilkan	Jatuhnya Botol	Ke Botol Rotasi	Ket
1	70 ms	100 ml	Ok	Air pada botol tidak tumpah	
2	100 ms	200 ml	Ok	Air pada botol tidak tumpah	
3	150 ms	400 ml	Ok	Air pada botol agak tumpah	

3.1.6 Penngujian program timer pengencangan cap botol

Tabel 2. Pengencang tutup botol

Percobaan ke-n	Timer setting PLC (T002)	Persentase kencangan botol	Keterangan
1	10	10 %	Sangat kurang kencang
2	20	50 %	Kurang kencang
3	30	100 %	Sangat di rekomendasikan dengan waktu 3 s Terlalu offer menyebabkan conveyor tetap pengaturan jarakmain slide berjalan normal.
4	40	>100%	motor pengencangan cepat aus dan rusak

3.1.7 Analisis Sistem keseluruhan

Tujuan dilakukannya analisis sistem keseluruhan ini guna mengetahui dan memperoleh informasi mengenai tingkat keberhasilan dari software yang sudah dirancang. Berikut adalah tabel hasil analisis sistem keseluruhan. Dengan tabel hasil analisis sistem keseluruhan.

Keberhasilan dari pengujian ini diukur dari ketepatan sensor yang mendeteksi adanya benda dan di dukung pula dengan kepresisian alat dan penghubungan elektrik setelah dilaksanakan kegiatan pengujian dan analisis sistem keseluruhan, sehingga bisa diperoleh kesimpulan bahwa kesuksesan yang didapat sebesar 100%, yang mana hasil tersebut diperoleh melalui 3 kali percobaan dengan keberhasilan sebanyak 3 kali.

Tabel 3. Analisa sistem

Per c	1. Input plc				Output plc			Ket
	Sensor proximity				motor gear box	S	M.P	
1	√	0	0	0	√	0	0	Sesuai
2	0	√	√	0	0	√	√	Sesuai
3	0	0	√	0	0	0	√	Sesuai

Keterangan:

S1= Sensor Air

S2= Sensor Motor Rotasi

S3= Sensor Selenoid Dan Motor Pengencangan Cap Botol

S4= Sensor Stop Motor Rotasi

√= Aktif

0= Tidak Aktif

M.A= Motor Air

M.R= Motor Rotasi

S= Selenoid

M.P= Motor Pengencangan Cap Botol

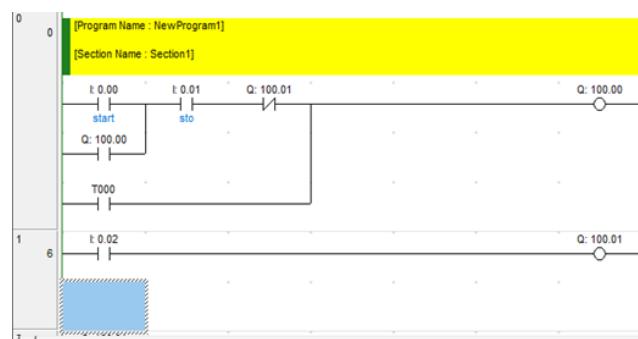
3.1.8 Analisa mekanik

Tabel 4. Analisa sistem mekanik

Conveyor	Slide cap botol	Botol jatuh ke bidang miring
Ok tidak ada kendala dibagian conveyor kurang lebih sudah 50 kali percobaan	sesekali namun tersebut diatasi pengaturan tetap jarakmain slide berjalan normal.	Kendala di botol jatuh ke bidang miring sering terjadi tumpah air jika air pada botol penuh.

3.1.9. Pemrograman PLC OMRON CPM1 pada Cx-programmer

Untuk menjalankan motor conveyor tekan tombol start/alamat input 0.00 di normaly open supaya terhubung, maka motor conveyor aktif dikarenakan tombol start menggunakan push button *normaly open* maka saya buatkan output 100.00 di hubungkan ke input dengan simbol NO.

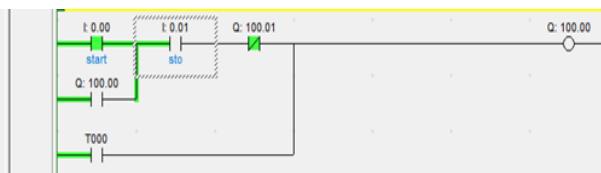


Gambar 9. Intruksi menyalahkan conveyor on.

3.2 Pembahasan

3.2.1. Tahapan pembahasan intruksi pemrograman PLC OMRON CPM pada Cx-programmer

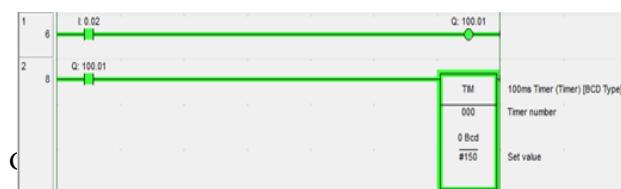
Intruksi menyalakan conveyor: Untuk mematiakm motor conveyor tekan tombol stop/alamat inputnya 0.01 di normally close.



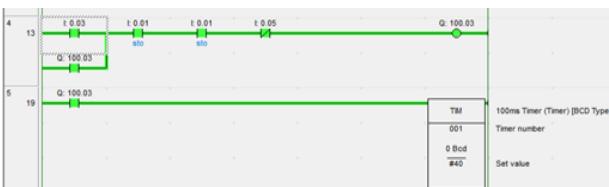
Gambar 10. Instruksi mematikan conveyor.

3.2.2. Intruksi pengisian air dan motor rotasi

Ketika sensor proximity mendeteksi adanya botol maka alamat input 0.02 yang awalnya normally open menjadi normally close. Input 0.02 tersebut untuk menjalankan timer T000 selama 15 ms kemudian output 100.01 motor pompa air hidup untuk mengisi air sampai batas waktu yang ditentukan oleh timer T000 selama 150 ms/setara 450ml liter jika sudah sampai batas waktu 150ms maka pompa air mati.



Gambar 11. Instruksi pengisian air



Gambar 12. Instruksi motor rotasi secara otomatis

3.2.3. Intruksi motor pengencangan cap botol

Ketika sensor proximity mendeteksi adanya botol maka simbol input 0.04 akan NC untuk menjalankan output 100.05 yaitu solenoid untuk menggerakan slinder kebawah selang beberapa detik kemudian motor pengencangan on sampai batas waktu yang sudah di seting pada timer T002.



Gambar 13. Instruksi pengencangan tutup botol



Gambar 14. Instruksi motor rotasi off keposisi awal

4. Kesimpulan

Dari hasil kajian sistem yang berjudul pengisian air dan penutup botol otomatis berbasis PLC CP1E, maka kesimpulan yang dapat diperoleh, yaitu:

1. Pada sistem ini PLC sistem sudah dapat bekerja baik namun alau semua komponen sensornya bekerja baik.
2. Dalam pemasangan sensor arus tepat supaya dalam medeteksi gangguan tepat sehingga proses penutupan bisa tepat.
3. Limith switch berperan sebagai alat untuk menghentikan botol saat proses pengambilan.

Keterbatasan otomatisasi masih dijumpai bahwa sistem tidak bisa beropersi dengan otomasi penuh karena sistem penempatan botol masih bersifat manual.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis ucapan atas semua bantuan dari teman sejawat, PLP dan mahasiswa yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] F. Adhim and M. A. Murtadho, "Perancangan Aplikasi Cetak Dokumen Online Berbasis Android Di Biner Jombang," *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, 3(1), 2020, 85–90.
- [2] D. Yuhendri, "Penggunaan PLC Sebagai Pengontrol Peralatan Building Automatis," *JET (Journal Electr. Technol.)*, 3(3), 2018, 121–127.
- [3] H. Ferdinando, H. Wicaksono, and R. Mintaraga, "Kendali Posisi Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Programmable Logic Controller," 2006.
- [4] E. Y. D. Utami, M. A. Gupta, and F. D. Setiadi, "Perancangan Antena Mikrostrip Mimo 2× 2 Patch Persegi Panjang Pada Frekuensi Lte 2, 3 Ghz," *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, 4(1), 2021, 12–20.
- [5] N. Laila, "Sistem informasi pengolahan data inventory pada toko buku studi CV. Aneka Ilmu semarang," *J. Tek. Elektro*, 3(1), 2011, 16.
- [6] L. Son and S. Rinaldi, "Perancangan Dan Pembuatan Sistem Pengantongan Material Otomatis Berbasis PLC Omron CPM 1A," *Teknika*, 20(1), 2013.
- [7] S. Nuari and E. Zondra, "Analisis Starting Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)," *SainETIn J. Sains, Energi, Teknol. dan Ind.*, 2(2), 2018, 60–67.
- [8] Y. M. Sihite, "Rancang Bangun Pengaturan Arah Putaran Motor Dc Berdasarkan Waktu Real Time Clock (Rtc) Dan Monitoring Menggunakan Hmi Berbasis Plc Schneider Pada Alat Penetas Telur Otomatis," *Undip*, 2018.
- [9] A. C. I. Tria Cahayuning, "Human Machine Interface (Hmi) Pada Simulasi Pemilahan Barang Berdasarkan Sensor Barang Yang Distempel Dan Jenis Barang Logam Non Logam Berbasis Programable Logic Controller (PLC) Schneider Modicon Tm221ce16r," *undip*, 2018.
- [10] A. M. A. Baria, D. Darlis, and Y. S. Hariyani, "Perancangan Dan Realisasi Modul Praktikum Teknik Digital Dan Komputer Sap-1 Sebagai Sarana Perkuliahan D3 Teknik Telekomunikasi," *eProceedings Appl. Sci.*, 1(1), 2015.

- [11] T. Hendra, "Sistem Pengendali Pintu Dengan Sensor Posisi Menggunakan PLC." STMIK AKAKOM Yogyakarta, 2005.
- [12] V. Amrizal and Q. Aini, "Arsitektur komputer teori dan perkembangannya." Halaman Moeka Publishing.
- [13] I. G. S. Widharma, "Kajian Pustaka Pemanfaatan Plc Dalam Dunia Industri."
- [14] R. A. Fauzi, Sistem Informasi Akuntansi (Berbasis Akuntansi). Deepublish, 2017.
- [15] F. A. Aryanto, "LKP: Perancangan Program PLC untuk Mesin Burner pada PT. Kairos Solusi Indonesia." Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya, 2018.
- [16] B. N. U. R. Ramadhan, "Rancang Bangun Miniatur Sistem Parkir Mobil Otomatis Bertingkat Menggunakan Programmable Logic Controller." Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017.
- [17] M. A. Fahmi, "LKP: Pembuatan Modul Pembelajaran PLC (Programmable Logic Controller) Omron di Laboratorium PLC Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya." Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya, 2015.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Perilaku *supercooling* pada proses *solidification* material perubahan fasa berbasis air

I Made Rasta^{1*}, I Nyoman Suamir¹, Adi Winarta¹, I Wayan Adi Subagia² dan I Dewa Made Susila²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

²Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: maderasta@pnb.ac.id

Abstrak

Penyimpanan energi termal berbasis *phase change material* (PCM) sebagai material penyimpan energi dianggap sebagai teknologi yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan karena biayanya yang rendah dan kapasitas penyimpanan yang tinggi pada kondisi isothermal. Penyimpanan energi termal menjadi komponen yang tak terelakkan dari pemanfaatan teknologi energi terbarukan yang bersifat intermiten, karena perannya yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan *Quality of Service* (QoS). Saat ini, salah satu penelitian utama dalam sistem tersebut adalah meningkatkan efisiensi penukar panas dan pembawa panas. Oleh karena itu, mempelajari perilaku termal dan sifat termofisika penyimpanan panas sangat penting. *Supercooling* adalah sifat termofisika PCM yang bermasalah dalam aplikasi penyimpanan termal dan merupakan tantangan dalam aplikasi teknis. *Supercooling* bahan perubahan fasa (PCM) selama proses perubahan dari cair ke padat adalah masalah utama dalam penyimpanan energi termal, yang mengurangi efisiensi energi dan memperburuk pemborosan energi. Studi ini berfokus pada karakteristik *supercooling* PCM di bawah nukleasi heterogen, yang memberikan ide baru untuk meneliti pengaruh agen nukleasi pada tingkat *supercooling* larutan berair. Pemahaman, prediksi dan, jika mungkin, pencegahan, atau setidaknya pengurangan, *supercooling* sangat penting khususnya untuk sistem penyimpanan energi termal panas laten, karena perbedaan suhu di dalamnya harus kecil untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi. Air adalah PCM yang paling terkenal saat ini, karena mempunyai karakteristik yang baik, namun mempunyai kelemahan yaitu *supercooling* tinggi. Berbagai metoda telah dicari dan dikembangkan untuk mengendalikan perilaku atau cairan *supercooling*. Metoda yang paling ekonomis dan efisien untuk mengurangi atau meghilangkan *supercooling* adalah penambahan agen nukleasi. Berbagai sampel PCM yaitu larutan propileneglikol dalam air dibuat dengan berbagai prosentase (10/90, 20/80 dan 30/70) dengan tujuan untuk mengurangi *supercooling* air. Sampel yang dibuat di uji dengan metoda T-history. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *supercooling* air semakin berkurang seiring dengan bertambahnya prosentase larutan propilen glikol dalam air, dari 10 derajat berturut-turut menjadi masing-masing 6, 4, 2 derajat, sehingga sesuai untuk aplikasi pendingin.

Kata kunci: *Supercooling*, agen nukleasi, bahan perubahan fasa, penyimpanan energi termal.

Abstract: Thermal energy storage based on phase change material (PCM) as an energy storage material is considered a promising technology to meet future energy needs due to its low cost and high storage capacity under isothermal conditions. Thermal energy storage is an inevitable component of intermittent use of renewable energy technology, due to its significant role in improving efficiency and Quality of Service (QoS). At present, one of the main researchers in such systems is to improve the efficiency of heat exchangers and heat carriers. Therefore, studying the thermal behaviour and thermophysical properties of heat storage is very important. *Supercooling* is a thermophysical property of PCM that is problematic in thermal storage applications and is a challenge in technical applications. *Supercooling* of phase change materials (PCM) during the process of changing from liquid to solid is a major problem in thermal energy storage, which reduces energy efficiency and exacerbates energy wastage. This study focuses on the *supercooling* characteristics of PCM under heterogeneous nucleation, which provides a new idea to investigate the effect of nucleating agents on the *supercooling* rate of aqueous solutions. Understanding, predicting and, where possible, preventing, or at least reducing, *supercooling* is of particular importance for latent heat thermal energy storage systems, as the temperature differences within them must be small to achieve higher efficiencies. Water is the most popular PCM today, because it has good characteristics, but has a weakness, namely high *supercooling*. Various methods have been sought and developed to control the behaviour of *supercooling* fluids. The most economical and efficient method for reducing or eliminating *supercooling* is the addition of a nucleating agent. Various PCM samples, namely propylene glycol solution in water, were made in various percentages (10/90, 20/80 and 30/70) with the aim of reducing *supercooling* of water. The samples made were tested by the T-history method. The results showed that the water *supercooling* decreased with the increase in the percentage of propylene glycol solution in water, from 10 degrees to 6, 4, 2 degrees respectively, making it suitable for cooling applications.

Keywords: *supercooling*, nucleation agent, phase-Change Material, thermal energy storage

1. Pendahuluan

Teknologi penyimpanan energi perubahan fase telah menjadi topik banyak penyelidikan sampai saat ini karena memiliki banyak aplikasi industri termasuk aerospace, air conditioning dan refrigerasi, sistem penyimpanan panas matahari, dan pemanas gedung. Sejumlah besar literatur tentang studi eksperimental dan numerik diterbitkan dalam beberapa dekade terakhir [1-4].

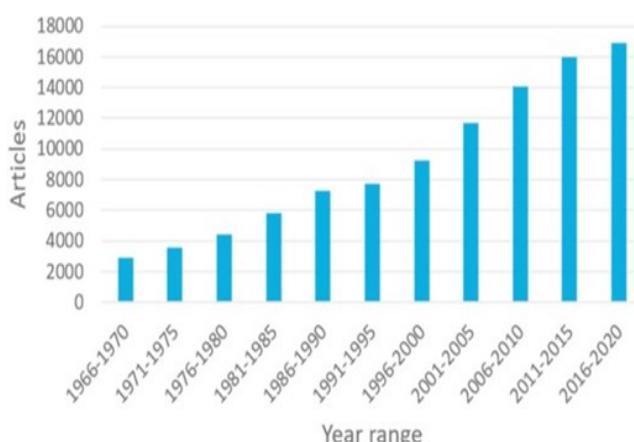
Konsep penyimpanan termal diselidiki lebih awal pada tahun 1970-an [5]. Penyimpanan energi termal laten menggunakan bahan perubahan fasa (*phase change material* = PCM) telah disarankan untuk meningkatkan kinerja, karena kepadatan penyimpanan energi yang besar dan perubahan suhu minimal selama transisi fasa [6].

PCM biasanya dibagi menjadi dua kategori: organik dan anorganik. PCM anorganik memiliki karakteristik rentang temperatur transisi fasa yang besar, nilai entalpi yang besar, dan keluaran energi yang tidak stabil, sedangkan PCM organik memiliki karakteristik densitas penyimpanan panas yang rendah, tidak korosi, dan tidak mengalami supercooling [7]. Entalpi transisi fase garam anorganik besar, dan suhu transisi fase stabil, tetapi tingkat supercooling selama transisi fase besar, yang korosif terhadap bahan penyimpanan dan pemisahan fase terjadi dengan peningkatan jumlah siklus [8].

Ada beberapa metode untuk mengatasi supercooling PCM, seperti nucleating agent [9-11], getaran ultrasonik [12-15], dan getaran mekanis [16]. Menambahkan agen nukleasi dan agen pengental untuk bahan perubahan fasa adalah metode yang luas dan terkemuka diadopsi oleh para peneliti untuk mengurangi tingkat supercooling dan pemisahan fasa [17-21].

Supercooling merupakan suatu fenomena dimana cairan membeku di bawah titik beku normalnya. Bahan PCM masih cair dibawah titik lelehnya, yang dapat menyebabkan kegagalan bahan berfungsi sebagai penyimpanan energi termal. Maka mengendalikan supercooling menjadi sangat penting dalam teknologi PCM sehingga dapat terjadi penyimpanan energi panas latent pada suhu isotermal.

Pentingnya fenomena ini tercermin dari meningkatnya jumlah artikel, konferensi, dan paten yang mengandung *supercooling* dalam judul dan abstraknya, selama beberapa dekade terakhir. Berdasarkan data Google scholar, Gambar 1 menggambarkan tren ini.



Gambar 1. Peningkatan jumlah artikel tentang *supercooling* [22]

Tergantung pada aplikasi yang diberikan, supercooling dapat berguna atau merusak. Namun, memperlakukan fenomena ini membutuhkan pengetahuan yang baik tentang perilakunya dalam kondisi yang berbeda. Supercooling adalah salah satu fenomena yang sangat umum di alam dan proses teknologi tetapi masih baru bagi para peneliti dan pengembang.

Pengenalan menyeluruh untuk supercooling dilakukan melalui kemunculannya di alam atau aplikasi sehari-hari seperti pengawetan makanan dan sistem penyimpanan energi panas. Air adalah PCM yang paling terkenal saat mempelajari kejadian supercooling di alam. Pentingnya mempertimbangkan fenomena ini dalam karya eksperimental dan penelitian dijelaskan dengan menghadirkan efek langsungnya pada kinerja dan efisiensi aplikasi.

Saat ini mencari bahan untuk penyimpanan energi panas latent dengan biaya lebih rendah telah membawa para peneliti untuk mempelajari bahan baru sebagai bahan penyimpanan energi termal baru. Bahan perubahan fase baru harus memiliki kinerja yang lebih baik atau setidaknya stabilitas termal dan kimia yang diharapkan untuk PCM.

Air saat ini merupakan PCM terkenal, karena mempunyai karakteristik yang baik. Namun, air mempunyai supercooling tinggi yang membatasi aplikasinya sebagai penyimpanan energi termal. Ruang lingkup makalah ini adalah untuk memilih agen nukleasi terbaik untuk digunakan dengan air untuk mengoptimalkan kinerjanya sebagai bahan perubahan fasa dengan mengurangi *supercooling*-nya. Pemilihan agen nukleasi dipertimbangkan dan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh untuk menguatkan pengaruhnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi dan bahkan kalau memungkinkan meniadakan derajat supercooling air dengan menambah larutan glikol, karena supercooling parameter kunci dan masalah kritis dari sudut pandang praktis penyimpanan energi termal. Pemahaman faktor dan metode untuk mengontrol supercooling adalah dasar untuk memajukan penelitian dan teknologi energi panas.

Dengan demikian, kemampuan nukleasi yang andal saat melepaskan panas latent sangat penting. Selain itu, material *supercooled* harus memiliki energi aktivasi yang besar untuk nukleasi untuk menghindari kristalisasi spontan dalam kondisi *supercooled*. Meskipun beberapa pengembang telah memberikan teori cairan metastabil yang terhormat, perhitungan sifat termofisika masih tetap menjadi masalah terbuka dan mengendalikan perilaku atau cairan *supercooled* merupakan tantangan dalam aplikasi teknis. Oleh karena itu, memahami proses kristalisasi sangat penting untuk kemajuan dalam penelitian dan teknologi PCM.

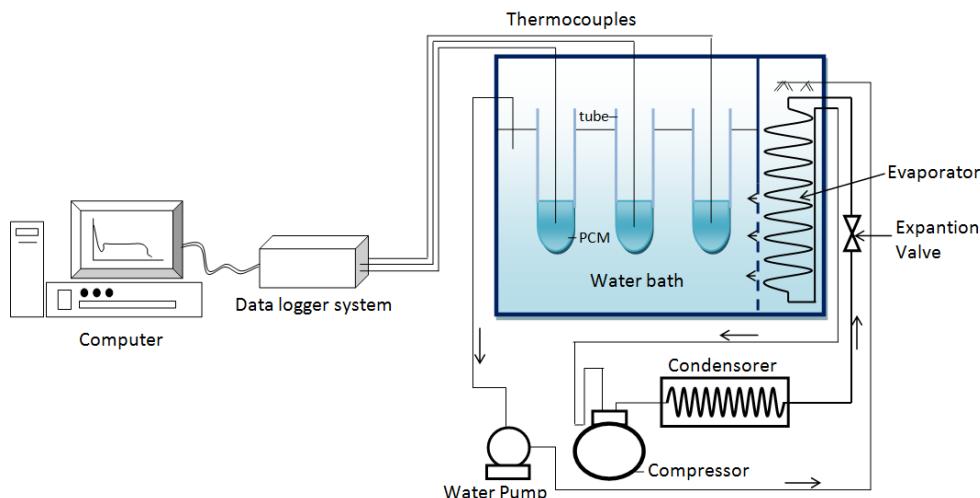
2. Metode dan Bahan

Bahan yang digunakan sebagai PCM dalam penelitian ini adalah berbasis air. Berbagai persentase (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%) larutan propilen glikol dalam air dibuat untuk diuji sebagai sampel PCM.

Ada berbagai metoda pengukuran derajat supercooling yang mengukur titik leleh dan titik beku cairan superdingin dengan akurasi yang dapat diterima. Salah satu sistem pengukuran umum digambarkan pada Gambar 2.

Metode T-history adalah sebuah metode sederhana untuk menentukan titik leleh, kalor lebur, kalor jenis dan konduktivitas termal PCM. Kurva *Temperatur - Time* dari sampel PCM diambil dan sifat *thermophysical* mereka diperoleh dengan membandingkan kurva dengan kurva *Temperature - Time* dari bahan lain yang dikenal berfungsi sebagai referensi (biasanya air murni) [23]. Dibandingkan dengan metode lain seperti metode kalorimetrik konvensional, DSC dan DTA, metode- T history [24-26] memiliki beberapa keistimewaan sebagai berikut: (i) telah

dirancang untuk menguji sampel besar; (ii) unit percobaan sederhana, (iii) ia mampu mengukur beberapa sifat *thermophysical* beberapa sampel dari PCM secara bersamaan, dan (iv) memungkinkan seseorang untuk mengamati proses perubahan fase dari masing-masing sampel PCM. Zhang dan Jiang mengukur sifat termofisik beberapa PCM menggunakan metode T dan ditemukan kesesuaian yang diinginkan antara hasil dan data yang tersedia dalam literatur.

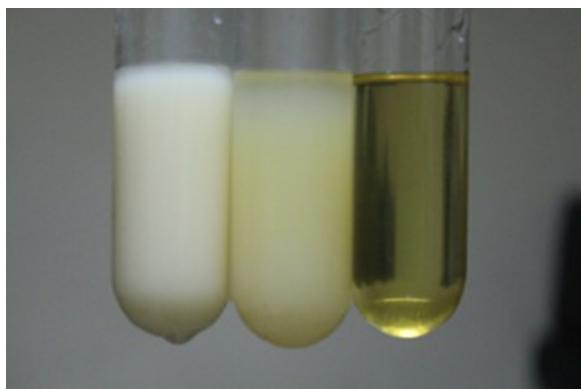


Gambar 2. Diagram skematis Metoda T-history

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penyimpanan energi termal cairan supercooled

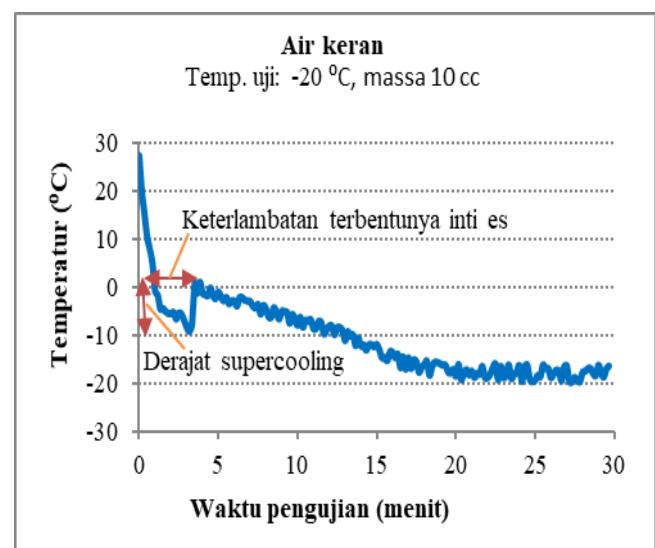
Gambar 3 menunjukkan cairan *supercooled* atau sangat dingin dan keadaan padatnya. Cairan di mana mereka tetap dalam fase cair ketika didinginkan di bawah suhu titik lelehnya. Cairan *supercooled* membutuhkan energi tambahan untuk melepaskan panas laten yang tersimpan. Selain itu, material *supercooled* harus memiliki energi aktivasi yang besar untuk nukleasi dan menghindari kristalisasi spontan dalam kondisi *supercooled*. Misalnya, air murni dapat *supercooled* hingga -41°C , pada tekanan atmosfer di laboratorium tanpa terjadi transisi ke fase padat [25].



Gambar 3. Cairan *supercooled* dan keadaan padatnya

Kurva *supercooling* dan perilaku termal dari cairan *supercooled* sebelum dimulai *solidification* (perubahan

wujud dari cair menjadi padat) ditunjukkan pada Gambar 4. *Supercooling* air yang tinggi diakibatkan karena proses pertumbuhan kristal (nukleasi) yang buruk, sehingga dibutuhkan energi yang besar sampai terbentuknya inti es (*nuclei*). Dibuktikan dengan dibutuhkan waktu yang lama sampai terbentuknya inti es (*nucleation delay*) dan temperatur yang jauh lebih rendah dari titik lelehnya, sehingga menjadi tantangan dalam aplikasi praktis sebagai penyimpan energi termal. Setelah terbentuknya inti, suhu naik dan stabil pada titik leleh (T_m) segera setelah kristalisasi (Gambar 5).



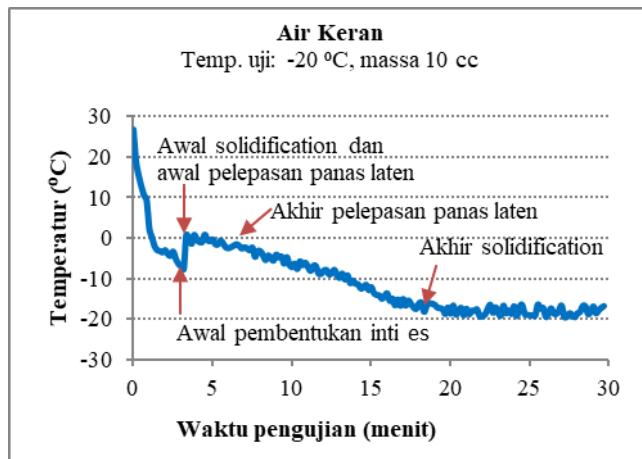
Gambar 4. Kurva supercooling air

3.2 Derajat Supercooling

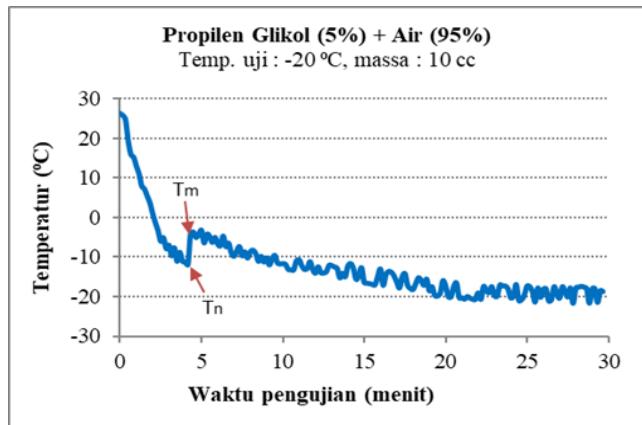
Derajat *supercooling* adalah perbedaan antara suhu leleh teoritis dan suhu terendah yang dicapai oleh fasa cair, disebut suhu nukleasi (*nucleation*) yaitu start mulai terbentuknya inti es. Hal ini dapat ditunjukkan sebagai persamaan histeresis [26]:

$$\Delta T_s = T_m - T_n \quad (1)$$

di mana ΔT_s menunjukkan derajat *supercooling*, T_m adalah suhu leleh dan T_n adalah suhu nukleasi. Peningkatan kapasitas panas efektif cairan superdingin dapat dilakukan melalui pengurangan interval kisaran suhu leleh dan beku ($T_m - T_n$) yang merupakan derajat pendinginan



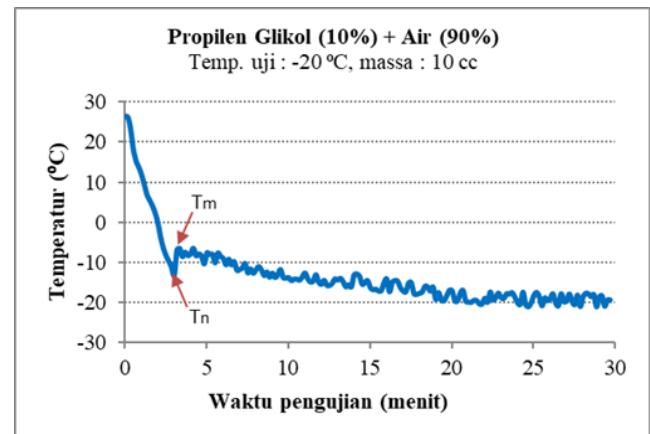
Gambar 5. Kurva solidification air



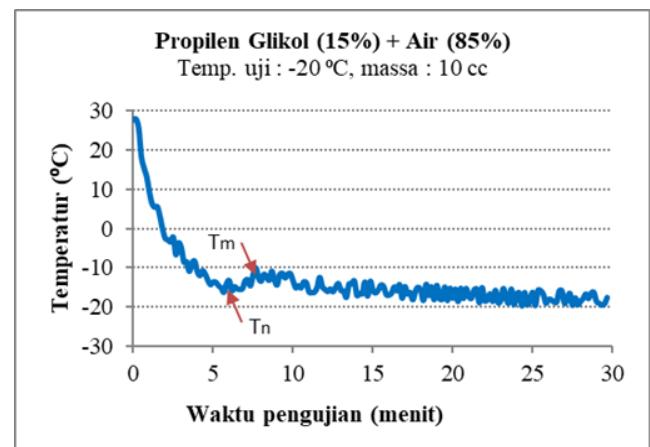
Gambar 6. Kurva solidification 5% propilen glikol dengan 95% air

Gambar 6, 7, 8, 9 menunjukkan proses solidifikasi, yaitu perubahan wujud cair dari campuran berbagai prosentase, masing-masing 5%, 10%, 15%, 20% propilen glikol dengan 95%, 90%, 85%, 80% air menjadi padat. Cairan membeku setelah suhu pendinginan jauh dibawah suhu titik beku normalnya. Proses kristalisasi melalui beberapa fase yaitu fase induksi, fase pertumbuhan kristal dan fase pertumbuhan kembali kristal. Selama fase induksi, inti terbentuk dan tumbuh hingga ukuran yang cukup untuk menjadi stabil (terbentuk pusat nukleasi). Selanjutnya, kristal PCM berdifusi menuju nukleus untuk diadsorpsi di permukaannya, dan karenanya menumbuhkan nukleus.

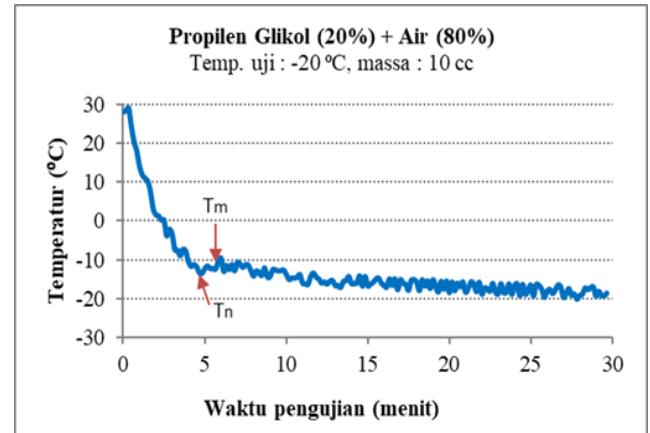
Bahan teradsorpsi bermigrasi sepanjang permukaan dan dimasukkan ke dalam bentuk kristal. Kristal kecil ini terus tumbuh dan akhirnya menjadi cukup besar dan cukup banyak untuk mempertahankan laju pertumbuhan kristal yang cepat. Laju kristalisasi melambat saat proses pembekuan hampir selesai. Bahkan setelah bahan benar-benar beku, proses redistribusi terus memodifikasi bentuk partikel dan distribusi ukuran.



Gambar 7. Kurva solidification 10% propilen glikol dengan 90% air

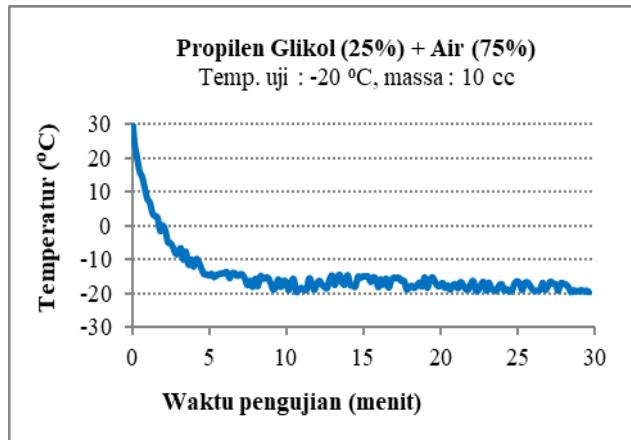


Gambar 8. Kurva solidification 15% propilen glikol dengan 85% air

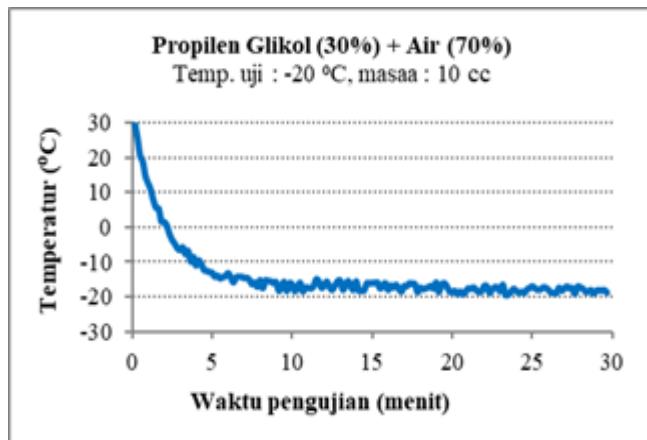


Gambar 9. Kurva solidification 20% propilen glikol dengan 80% air

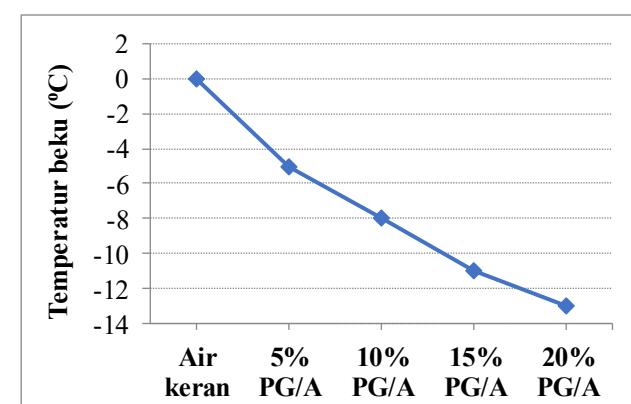
Penambahan propilen glikol kedalam air menyebabkan titik beku air menurun dan derajat supercooling juga menurun. Penambahan berbagai prosentase larutan propilen glikol (5%, 10%, 15% dan 20%) kedalam air secara berturut-turut masing-masing menyebabkan titik beku air menurunkan menjadi 5 °C, 8 °C, 11 °C, dan 13 °C. Hal yang sama juga terjadi pada derajat supercooling, yaitu terjadi penurunan derajat supercooling masing-masing berturut-turut menjadi 8 K, 7 K, 4 K, dan 1 K.



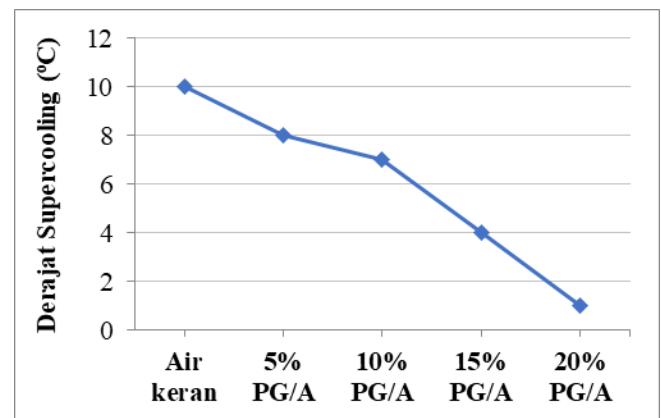
Gambar 10. Kurva pendinginan (cooling) 25% propilen glikol dengan 75% air



Gambar 11. Kurva pendinginan (cooling) 30% propilen glikol dengan 70% air



Gambar 12. Temperatur beku dari air dan berbagai prosentase propilen glikol dalam air



Gambar 13. Derajat supercooling dari air dan berbagai prosentase propilen glikol dalam air

Table 1. Sifat termal PCM dari air keran dan campuran propilen glikol dalam air.

Sample (Vol.%)	T-history	
	Proses pendinginan Suhu pembekuan (T _m , °C)	Derajat supercooling (K)
Air keran	0	10
5/95 (PG/A)	5	8
10/90 (PG/A)	8	7
15/85 (PG/A)	11	4
20/80 (PG/A)	13	1
25/75 (PG/A)	Tidak membeku	-
30/70 (PG/A)	Tidak membeku	-

PG/A = Propilen Glikol dalam Air

Sedangkan dengan penambahan larutan 25% dan 30% propilen glikol kedalam air tidak terjadi perubahan wujud dari cairan menjadi padat (*solidification*), seperti ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh: (1) titik beku larutan lebih rendah dari temperatur uji, (2) tidak terdapat partikel yang dapat memicu terbentuknya inti untuk pertumbuhan kristalisasi, (3) waktu pengujian belum cukup untuk tercapainya solidifikasi, dan lain-lain. Sehingga bahan hanya menyimpan panas sensible saja.

Gambar 12 menunjukkan suhu beku air dan larutan berbagai prosentase propilen glikol dalam air. Gambar 13 menunjukkan derajat supercooling air dan beberapa larutan propilen glikol dalam air. Secara terperinci suhu beku dan derajat supercooling air dan berbagai prosentase propilen glikol dalam air ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil eksperimen menunjukkan penambahan propilen glikol dalam air mengakibatkan suhu pembekuan dan derajat supercooling air mengalami penurunan. Hasil yang paling menarik penambahan 20% propilen glikol dalam air menyebabkan supercooling air menurun drastic, bahkan sangat kecil (1 K), sehingga sangat sesuai untuk aplikasi penyimpanan energi termal temperatur rendah (refrigerasi).

4. Kesimpulan

Selama beberapa dekade terakhir, banyak pekerjaan eksperimental dan analitis telah dilakukan, menghasilkan peningkatan yang signifikan terhadap PCM yang andal dan

hemat biaya. Doping, pencangkokan, atau penggabungan bahan berstruktur unik meningkatkan konduktivitas termal, panas sensibel, dan panas laten fusi PCM murni. Stabilitas termal dan kimia dari rekayasa tersebut harus dinilai lebih lanjut sebelum penggunaan praktis.

Efisiensi perangkat penyimpanan energi termal perubahan fase secara langsung berkaitan dengan sifat termofisikanya. Campuran baru PCM murni dan aditif sedang dikembangkan untuk penggunaan penyimpanan energi termal. Ini adalah area penelitian yang sangat menarik dan penting saat ini. Sebagian besar metode untuk meningkatkan sifat PCM, produksi, dan efektivitas biaya masih dalam tahap pengujian, meskipun temuan menunjukkan bahwa mereka sangat menjanjikan untuk industri penyimpanan energi termal.

Studi ini difokuskan pada peningkatan kapasitas penyimpanan termal PCM. Kapasitas penyimpanan termal PCM dapat ditingkatkan dengan menggunakan aditif yang sesuai dalam proporsi yang sesuai. Namun, konsentrasi yang tidak tepat dapat menyebabkan pengurangan kapasitas penyimpanan panas.

Menambahkan aditif atau agen nukleasi yang sesuai ke PCM adalah salah satu metode yang paling sering digunakan untuk mengurangi derajat *supercooling* karena dapat memicu nukleasi. Hasil pengujian dari beberapa sampel PCM berbasis air yang dikembangkan dengan penambahan aditif propilen glikol, dapat mengurangi dan bahkan menghilangkan derajat supercooling air dan menurunkan titik beku air sehingga sesuai untuk aplikasi penyimpanan dingin. Derajat *supercooling* tergantung pada bentuk dan ukuran wadah, komposisi PCM, laju pemanasan dan pendinginan, area perpindahan panas, dan lain-lain.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan banyak terima kasih atas bantuan dan dukungan dari tim peneliti, Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP), unit publikasi Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bali yang telah membantu penyelesaian dan publikasi paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] M. M. Farid, A. M. Khudhair, S. Razack, and S. Al-Hallaj, "A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications," *Energy Conversion Management*, 45(9), 2004, pp. 1597-1615. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.015>
- [2] T. U. Rehman, H. M. Ali, M. M. Janjua, U. Sajjad, and W. M. Yan, "A Critical Review on Heat Transfer Augmentation of Phase Change Materials Embedded with Porous Materials/foams," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135, 2019, pp. 649-673. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.02.011>
- [3] A. Sharma, R. Chauhan, M. A. Kallioli, V. Chinnasamy, and T. Singh, "A Review of Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Storage in Solar Air Heating Systems," *Material Today Procedia*, 44, 2020, pp. 4357-4363. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.560>
- [4] A. Racisi, I.N. Suamir, S.A. Tassou, "Energy storage in freezer cabinets using phase change materials", The 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain, Paris.
- [5] J. Xu, R. Z. Wang, Y. Li, "A review of available technologies for seasonal thermal energy storage," *Solar Energy* 103, 2014, pp. 610-638.
- [6] Y. P. Zhang, J. H. Ding, X. Wang, R. Yang, K. P. Lin, "Influence of additives on thermal conductivity of shape stabilized phase change material," *Solar Energy Material Solar Cells*, 90 (11), 2006, pp. 1692-1702.
- [7] B. Swa, B. Tya, B. Zka, B. Wpa, "Thermal conductivity enhancement on phase change materials for thermal energy storage: A review," *Energy Storage Materials*, 25, 2020, pp. 251-295.
- [8] Q. Wang, J. Wang, Y. Chen, C. Y. Zhao, "Experimental investigation of barium hydroxide octahydrate as latent heat storage materials," *Solar Energy*, 177, 2019, pp. 99-107.
- [9] P. Hu, D. J. Lu, X.Y. Fan, X. Zhou, Z.S. Chen, "Phase change performance of sodium acetate trihydrate with AlN nanoparticles and CMC," *Solar Energy Materials Solar Cells*, 95, 2011, pp. 2645-2649.
- [10] B. M. L. Garay Ramirez, C. Glorieux, E. San Martin Martinez, J. J. A. Flores Cuautle, "Tuning of thermal properties of sodium acetate trihydrate by blending with polymer and silver nanoparticles," *Applied Thermal Engineering*, 62, 2014, pp. 838-844.
- [11] L. L. Wei, K. Ohsasa, "Supercooling and solidification behavior of phase change material," *ISIJ International*, 50 2010, pp. 1265-1269.
- [12] T. Inada, X. Zhang, A. Yabe, Y. Kozawa, "Active control of phase change from supercooled water to ice by ultrasonic vibration 1. Control of freezing temperature," *International Journal Heat and Mass Transfer*, 44, 2001, pp. 4523-4531.
- [13] X. Zhang, T. Inada, A. Yabe, Y. Kozawa, "Active control of phase change from supercooled water to ice by ultrasonic vibration 2. Generation of ice slurries and effect of bubble nuclei," *International Journal Heat and Mass Transfer*, 44, 2001, 4533-4539.
- [14] E. Miyasaka, M. Takai, H. Hidaka, Y. Kakimoto, I. Hirasawa, "Effect of ultrasonic irradiation on nucleation phenomena in a $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ melt being used as a heat storage material," *Ultrasonic Sonochemical*, 13, 2006, pp' 308-312.
- [15] X. Zhang, L. Cai, S. U. Zhongjie, C. Ping, Y. Zhong, "Effects of ultrasound on phase separation and crystallization of sodium acetate trihydrate," *CIESC Journal*, 61, 2010, pp. 104-108.
- [16] L. H. Pan, L. W. Huang, Y. Qiao, J. Zhao, M. Jiang, "Influence of vibration on the supercooling relex of inorganic salt solution as a phase change material," *Journal Zhejiang University Technology*, 36, 2008, pp. 655-658.
- [17] Y. Fang, C. Jin, X. Liang, X. Gao, Z. Zhang, "Preparation and performance of sodium acetate

- trihydrate/formamide composite phase change material," CIESC Journal, 66, 2015, pp. 5142-5148.
- [18] W. Fu, T. Zou, X. Liang, S. Wang, X. Gao, Z. Zhang, Y. Fang, "Thermal properties and thermal conductivity enhancement of composite phase change material using sodium acetate trihydrate-urea/expanded graphite for radiant floor heating system," Applied Thermal Engineering, 138, 2018, pp. 618-626.
- [19] W. U. Dongling, L. I. Tingxian, H. E. Feng, R. Wang, "Preparation and performance of modified sodium acetate trihydrate composite phase change material for thermal energy storage," CIESC Journal, 69, 2018, pp. 2860-2868.
- [20] L. Jintian, M. Jinfeng, L. Weihua, L. Jing, X. Xiaoyan, "Supercooling mechanism and experimental study of sodium acetate trihydrate," Journal of Refrigeration, 30, 2009, pp. 32-35.
- [21] L. Jintian, M. Jinfeng, L. Jing, Y. A. Shiguang, "A selection and optimization experimental study of additives to thermal energy storage material sodium acetate trihydrate," Journal of Function Materials, 42, 2011, pp. 144-147. (In Chinese)
- [22] Shamseddine, F. Pennec, P. Biwole, F. Fardoun, "Supercooling of phase change materials: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 158, 2022, 112172.
- [23] Y. Zhang, G. Zhou, K. Lin, Q. Zhang, H. Di, "Application of latent heat thermal energy storage in buildings: state of the art and outlook," *Building and Environmental*, 42, 2007, pp. 2197-209.
- [24] I. M. Rasta, and I. N. Suamir, "The role of vegetable oil in water phase change materials for medium temperature refrigeration," Journal of Energy Storage, 15, 2018, pp. 368-378.
- [25] I.N. Suamir, I.M. Rasta, Sudirman, K.M. Tsamos, "Development of Corn-Oil Ester and Water Mixture Phase Change Materials for Food Refrigeration Applications", Energy Procedia, 161, 198-206.
- [26] I. M. Rasta, and I. N. Suamir, "Study on Thermal Properties of Bio-PCM Candidates in Comparison with Propylene Glycol and Salt Based PCM for sub-Zero Energy Storage Applications", Materials Science and Engineering, 494 (1), 012024.
- [27] A. Awasthi, N. Ali Shah, Y. J. Oh Kyung Kwon, J. D. Chung, "Supercooling effects and solidification of water inside a horizontal cylinder with a rough, sinusoidal surface shape," Journal of Energy Storage, 51, 2022, 104442.
- [28] N. Beaupere, U. Soupremanien, L. Zalewski, "Experimental measurement of the residual solidification duration of supercooled sodium acetate trihydrate," International Journal of Thermal Sciences, 158, 2020. 106544.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>

p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Simulasi penerapan *looping system* JTR untuk meningkatkan layanan pelanggan PT. PLN (Persero) menggunakan perangkat lunak ETAP

I Putu Sutawinaya^{1*}, I Wayan Sudiartha¹, I Ketut Ta¹ dan I Gede Guntur Saputra¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Bali 80364, Indonesia

*Email: sutawinaya_putu@pnb.ac.id

Abstrak

Dalam proses penerapan *looping* jaringan tegangan rendah terdapat beberapa standar yang harus dipenuhi. Pada kajian ini, penulis menganalisis penerapan *looping* jaringan tegangan rendah pada pelanggan premium *bronze* Klinik Braia yang diterapkan pada gardu DB0575 dan DB0292. Adapun beberapa hal yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu Pembebatan transformator, drop tegangan, pembebatan KHA, analisis jurusan, dan proteksi NH Fuse. Penelitian ini menggunakan *software* ETAP 16.00 dalam simulasi penerapan *looping* jaringan tegangan rendah. Adapun hasil penelitian ini sebelum penerapan *looping* JTR pembebatan transformator pada DB0575 dan DB0292 berturut-turut 28,2% dan 48,95% sedangkan setelah penerapan *looping* JTR menjadi 28,2% dan 51,9%. Nilai drop tegangan dan pembebatan KHA yang terkecil berturut-turut dihasilkan pada jurusan 1 pada gardu DB0575 dengan nilai 1.17% dan 7.08% dan jurusan 4 pada gardu DB0292 dengan nilai 0.73% dan 17.91%. Dan rating proteksi yang direkomendasikan gardu DB0575 setelah penerapan menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 200 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 phasa 250 kVA 2 jurusan. Sedangkan untuk gardu DB0292 menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 125 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 phasa 315 kVA 4 jurusan.

Kata kunci: *Looping system* JTR, pelanggan premium, drop tegangan, pembebatan transformator, KHA, proteksi, ETAP 16.0

Abstract: In the process of implementing a looping low-voltage network. In this study, the author analyzes the application looping of low-voltage networks in premium bronze customers which is applied to the DB0575 and DB0292 substations. There are several things that are analyzed in this study, namely transformer loading, voltage drop, loading of KHA, analysis of the best networks, and protection of NH Fuse. This research uses software in simulating the application looping of low-voltage networks. Transformer loading before the application of looping low voltage networks on DB0575 and DB0292 are 28.2% and 48.95% while after the application of looping of low-voltage networks are 28.2% and 51.9%. The smallest value of voltage drop and loading of KHA are resulted in the 1st direction at the DB0575 substation with a value of 1.17% and 7.08% and the 4th direction at the DB0292 substation with a value of 0.73% and 17.91%. And the recommended protection rating for the DB0575 substation after the application is using the NH Fuse 'gG' rated current 200 A with a maximum voltage of 690 V and a rated breaking capacity of 50 kA as a protection system on low voltage distribution panel for a 3-phase 250 kVA 2-way distribution transformer. Meanwhile, the DB0292 substation uses an NH Fuse 'gG' rated current 125 A with a maximum voltage of 690 V and a rated breaking capacity of 50 kA as a protection system on low voltage distribution panel for a 3-phase 315 kVA 4-way distribution transformer.

Keywords: *Looping system* JTR, premium customer, voltage drop, transformer loading, KHA, protection, ETAP 16.0

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Kebutuhan pelanggan terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik khususnya pada pelanggan sosial seperti Klinik Braia sangat penting untuk diperhatikan. Karena pelanggan tersebut memiliki fungsi krusial yang menyangkut kepentingan masyarakat khususnya dibidang kesehatan. Berdasarkan data dari Unit Pelayanan Pelanggan Denpasar dari tahun 2019-2021 tercatat penyulang pidada yang merupakan sumber utama dari klinik braia tersebut mengalami empat kali gangguan yang

masing-masing berdurasi 6 menit, 4 menit 57 detik, 1 menit 24 detik, dan 40 menit 55 detik. Untuk itu PLN memberikan inovasi layanan premium untuk pelanggannya dengan menerapkan *looping system* jaringan tegangan rendah yang disuplai oleh dua gardu dari dua penyulang berbeda yaitu pidada dan merpati untuk dapat meningkatkan keandalan sistem kelistrikan pelanggan.

Penelitian ini membahas mengenai prediksi persentase pembebatan transformator, drop tegangan, KHA, analisis penentuan jurusan dan penentuan rating proteksi yang

digunakan pada gardu DB0575 dan DB0292. Kemudian dilakukan simulasi aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui skema dan kualitas penerapan looping jaringan tegangan rendah yang direkomendasikan dengan simulasi jaringan pada software ETAP 16.00 sebelum dan saat penerapan looping jaringan tegangan rendah.

Merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, kondisi suatu pembebaan transformator dapat dikategorikan baik apabila persentase pembebaan $<60\%$, cukup baik pada $60-80\%$, kurang baik pada $80\%-<100\%$ dan buruk pada $\geq 100\%$ [1]. Selain itu merujuk pada SPLN No. 1 Tahun 1995, drop tegangan maksimum yang diijinkan pada jaringan tegangan rendah adalah -10% dari tegangan nominal [2].

2. Metode

Dalam proses pendistribusian energi akan mengakibatkan drop tegangan sehingga tegangan pada pangkal akan memiliki jumlah yang berbeda dengan tegangan ujung suatu jaringan. Hal ini dikarenakan terdapat energi yang berubah ke bentuk energi lain dalam proses penyaluran. Perhitungan jatuh tegangan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = I \cdot L (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \text{Jatuh tegangan (Volt)} \\ L &= \text{Panjang saluran (Meter sirkuit)} \\ I &= \text{Arus beban (A)} \\ R &= \text{Resistansi saluran (\Omega/km)} \\ X &= \text{Reaktansi saluran (\Omega/km)} \end{aligned}$$

Kemudian untuk menghitung persentase beban KHA dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Pembebanan KHA} = \frac{\text{Beban Penghantar}}{\text{KHA Outlet}} \times 100 \quad (2)$$

Untuk menghitung pembebaan transformator dapat menggunakan persamaan berikut,

$$\% \text{ Beban} = \frac{(VRN \times IR) + (VSN \times IS) + (VTN \times IT)}{\text{Daya Transformator}} \times 100 \% \quad (3)$$

dimana,

$$IR = \text{arus fasa R (A)}$$

Tabel 1. Data hasil pengukuran arus DB 0575

No	Data Beban Gardu DB0575	I Total				Jurusan I				Jurusan II			
		R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N
1	Senin, 3 Januari 2022	94,7	108,7	112,7	19	11,6	14	23,6	6,1	83,6	87	86,6	12,6
2	Selasa, 4 Januari 2022	112,7	127,5	111,1	10,3	10,7	6,4	11,5	6,4	96,9	116,1	99,8	6,6
3	Rabu, 5 Januari 2022	75,3	71,1	86,3	26,7	9,1	7	13,3	7,3	67,7	64,4	73,1	13,5
4	Kamis, 6 Januari 2022	95,4	93,8	115,4	38	6,2	4,6	12,4	7	87,7	90,2	103	25,1
5	Jumat, 7 Januari 2022	115	96	109	35	7	6	13	9	108	91	101	26
6	Sabtu, 8 Januari 2022	125	103	125	40	6	9	14	9	119	96	113	34
7	Minggu, 9 Januari 2022	100	106	103	29	13	17	36	20	79	85	64	24
8	Senin, 10 Januari 2022	110	116	104	46	29	25	43	20	68	86	60	30
9	Selasa, 11 Januari 2022	100,1	53,8	96,6	32,6	12,8	3,7	14,7	11,8	84,7	83,5	89,3	16,7
10	Rabu, 12 Januari 2022	94	87,3	101,4	30,7	14,2	6,2	17	11,7	81,5	81,1	85,7	15,1
Rata-rata		102,22	96,32	106,45	30,73	11,96	9,89	19,85	10,83	87,61	88,03	87,55	20,36

$$IS = \text{arus fasa S (A)}$$

$$IT = \text{arus fasa T (A)}$$

$$VRN = \text{tegangan fasa-netral R (V)}$$

$$VSN = \text{tegangan fasa-netral S (V)}$$

$$VTN = \text{tegangan fasa-netral T (V)}$$

$$SN = \text{daya nominal transformator (VA)}$$

Kemudian untuk menentukan rating proteksi *NH Fuse* yang digunakan maka diperlukan untuk mencari arus hubung singkat terkecil dan terbesarnya. Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$I_{a1} = \frac{3x Vf}{Z1+Z2+Z0} \quad (4)$$

dimana:

$$I_{a1} = \text{Arus hubung singkat 1 fasa (A)}$$

$$Vf = \text{Tegangan Fasa Netral (Volt)}$$

$$Z1(\text{Urutan Positif}) = Z_{S1} + Z_{t1} + Z_{p1} (\text{Ohm})$$

$$Z2(\text{Urusan Negatif}) = Z_{S2} + Z_{t2} + Z_{p2} (\text{Ohm})$$

$$Z0(\text{Urusan Nol}) = Z_{t0} + 3 \times Rn + Z_{p0} (\text{Ohm})$$

Sedangkan arus hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$I_{3fasa} = \frac{Vf}{Z1Eq} \quad (5)$$

$$I_{3fasa} = \text{Arus hubung singkat 3 fasa (A)}$$

$$Vf = \text{Tegangan fasa netral (V)}$$

$$Z1eq = \text{Impedansi ekivalen urusan positif (Ohm)}$$

2.1. Gardu Distribusi DB0575

Gardu DB0575 pada penyulang Pidada yang dalam naungan PT. PLN (Persero) ULP Denpasar merupakan gardu yang berkapasitas 250 KVA yang mensuplai 2 pelanggan yaitu masing-masing berdaya 197000 VA dan 23000 VA yang merupakan pelanggan premium. Dalam kondisi existing gardu ini merupakan sumber utama dari pelanggan premium tersebut khususnya pada jurusan 1.

Adapun riwayat hasil pengukuran yang dilakukan dari tanggal 3 Januari 2022 sampai dengan 12 Januari 2022 dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan hasil pengukuran nilai faktor daya diasumsikan sama dengan nilai rata-rata pengukuran yang dilakukan sebelumnya.

Adapun hasil pengukuran rata-rata faktor daya yang didapatkan yaitu 0,92 pada fasa R, S, dan T.

Tabel 2. Data hasil pengukuran tegangan DB 0575

Data Tegangan Gardu DB075	Tegangan (V)					
	RN	SN	TN	RS	RT	ST
Senin, 3 Januari 2022	228 V	230 V	228 V	400 V	402 V	402 V
Selasa, 4 Januari 2022	228 V	230 V	228 V	401 V	394 V	401 V
Rabu, 5 Januari 2022	229 V	229 V	230 V	397 V	394 V	399 V
Kamis, 6 Januari 2022	229 V	228 V	230 V	398 V	404 V	401 V
Jumat, 7 Januari 2022	229 V	229 V	229 V	399 V	395 V	401 V
Sabtu, 8 Januari 2022	228 V	230 V	229 V	397 V	395 V	404 V
Minggu, 9 Januari 2022	229 V	231 V	229 V	396 V	414 V	399 V
Senin, 10 Januari 2022	231 V	229 V	228 V	396 V	411 V	399 V
Selasa, 11 Januari 2022	229 V	228 V	229 V	398 V	412 V	401 V

Tabel 3. Data hasil pengukuran arus DB 0292

Data Beban Gardu DB.0292	I Total				Jurusan I			Jurusan II			Jurusan III			Jurusan IV						
	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N				
Senin, 3 Januari 2022	280,7	217,7	207	91,8	43,7	35,2	39,3	15,9	118,1	158,6	55,5	47,2	87,1	90,7	101,1	41,4	28,4	3	93	14,2
Selasa, 4 Januari 2022	244,4	205,2	200	68,5	34	35,9	31,1	15,6	90,4	52,9	54,3	32,7	766,9	95,3	102,2	29,6	39,4	15,3	15,5	10,8
Rabu, 5 Januari 2022	268,6	208,1	208,5	574,9	44	38,2	48	16	95,3	55,5	52,9	34,2	90	80	87,1	32,5	32,7	9,4	16,2	71
Kamis, 6 Januari 2022	195,2	136	150	71,6	12,8	24,7	17	14,3	78,8	45,8	26,3	68,2	76,5	61,6	31,8	31,8	36,8	24,4	20	6,6
Jumat, 7 Januari 2022	261	233	219	73	40	25	39	17	107	76	69	29	65	118	87	39	50	14	22	5
Sabtu, 8 Januari 2022	225	190	174	74	12	15	27	17	95	63	46	39	70	94	71	31	45	15	28	10
Minggu, 9 Januari 2022	296,9	230	226,9	985,9	59,6	55,6	52,1	15,3	116,7	53,8	61,8	40,6	79,7	103,5	102	35,3	41	17,4	11	10,7
Senin, 10 Januari 2022	269	226	249	75	68	53	77	22	115	55	63	41	77	105,6	100	34	28	16	7	5
Selasa, 11 Januari 2022	219	175	199	64	45	21	39	21	96	55	56	30	92	87	92	33,5	27	14	10	11
Rabu, 12 Januari 2022	303	235	235	114	60	52	55	13	114	57	68	44	80	110	103	37	35	17	10	10
Rata-rata	245,3	205,3	206,3	379,3	41,9	35,6	42,5	16,7	102,6	57,3	57,4	35,9	77,6	97,1	90,7	34,5	36,3	14,5	14,9	9,04

Tabel 4. Data hasil pengukuran tegangan DB 0292

Data Tegangan Gardu DB.0292	Tegangan (V)					
	RN	SN	TN	RS	RT	ST
Senin, 3 Januari 2022	225 V	228 V	229 V	398 V	400 V	398 V
Selasa, 4 Januari 2022	230 V	228 V	225 V	399 V	400 V	399 V
Rabu, 5 Januari 2022	224 V	227 V	227 V	397 V	399 V	397 V
Kamis, 6 Januari 2022	225 V	227 V	226 V	398 V	400 V	397 V
Jumat, 7 Januari 2022	230 V	226 V	226 V	397 V	400 C	398 V
Sabtu, 8 Januari 2022	224 V	225 V	227 V	397 V	395 V	399 V
Minggu, 9 Januari 2022	226 V	226 V	225 V	396 V	395 V	396 V
Senin, 10 Januari 2022	225 V	226 V	228 V	397 V	393 V	397 V
Selasa, 11 Januari 2022	223 V	227 V	230 V	397 V	396 V	397 V
Rabu, 12 Januari 2022	226 V	228 V	229 V	397 V	394 V	397 V
Rata - rata	225 V	228 V	229 V	398 V	400 V	398 V

**Gambar 1.** (a) Gardu DB0575 (b) name plate transformer DB0575

2.2 Gardu distribusi DB0292

Gardu DB0292 pada penyalur merpati merupakan gardu berkapasitas 315 KVA yang memiliki pelanggan sejumlah 272. Adapun riwayat hasil pengukuran yang dilakukan dari 3 januari- 12 januari 2022 dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Sedangkan hasil pengukuran nilai faktor daya diasumsikan sama dengan nilai rata-rata pengukuran yang dilakukan. Adapun hasil pengukuran rata-rata faktor daya yang didapatkan yaitu 0,85 pada fasa R, S, dan T.

**Gambar 2.** (a) Gardu DB0292 (b) Name plate transformer DB0292.

2.3. Simulasi looping system jaringan tegangan rendah menggunakan ETAP 16.00

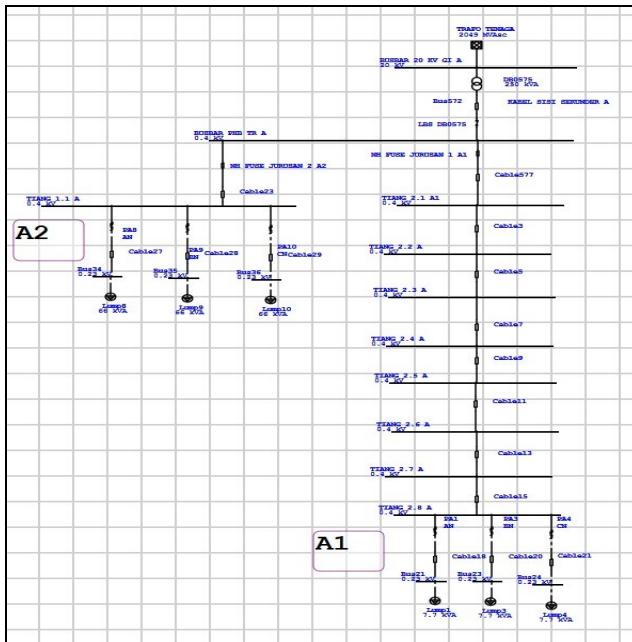
ETAP atau *electric transient analyzer program* merupakan suatu *software* yang dapat digunakan untuk membantu melakukan simulasi dan menganalisa suatu sistem jaringan tenaga listrik.

Pada penelitian ini *software* ETAP 16.00 digunakan untuk melakukan simulasi penentuan jurusan terbaik untuk dilakukan *looping system* dengan mempertimbangkan pembebanan KHA dan drop tegangan yang terjadi pada masing-masing jurusannya serta mengetahui arus hubung singkat terkecil dan terbesar saat penerapan *looping system*.

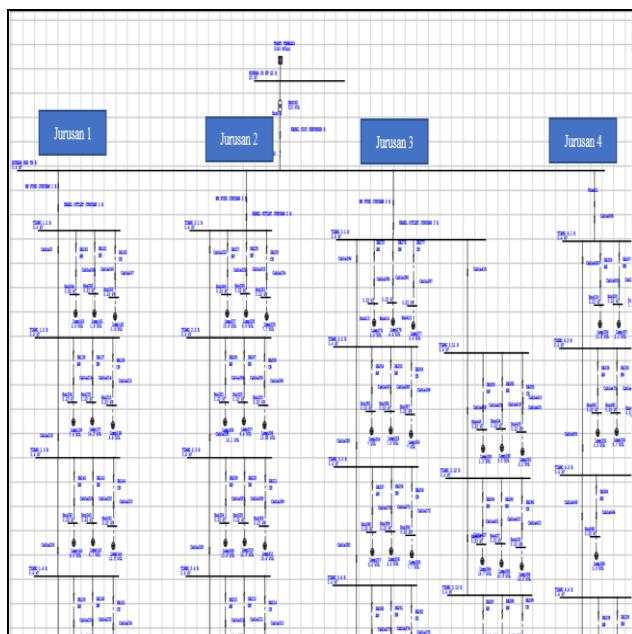
jaringan tegangan rendah. Data yang didapatkan dari hasil simulasi akan dijadikan acuan dalam melakukan analisis.

2.4 Simulasi penerapan looping jaringan tegangan rendah pada gardu DB 0575 dan DB0292

Pada software ETAP 16.00 disimulasikan dengan meninjau keadaan sesuai kenyataan dilapangan dengan batas toleransi 1%. Simulasi DB0575 dan DB0292 dilakukan dengan menambahkan beban pelanggan premium pada masing-masing jurusannya untuk mengetahui nilai jatuh tegangan dan pembebanan KHA.



Gambar 3. Single line diagram pada Gardu Distribusi DB0575 yang disimulasikan dengan menggunakan ETAP



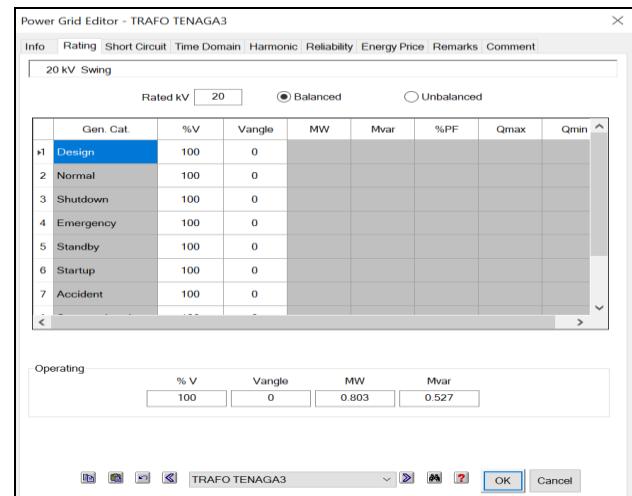
Gambar 4. Single line diagram pada gardu distribusi DB0292 yang disimulasikan dengan menggunakan ETAP.

Pada Gambar 3 dan 4 merupakan cuplikan gambar simulasi looping system jaringan tegangan rendah pada

mode edit dalam kondisi gardu DB0575 dan DB0292 menyuplai beban pelanggan *premium* yang bertujuan untuk mengetahui kondisi kedua gardu saat gardu lainnya mengalami pemadaman akibat gangguan ataupun pemeliharaan.

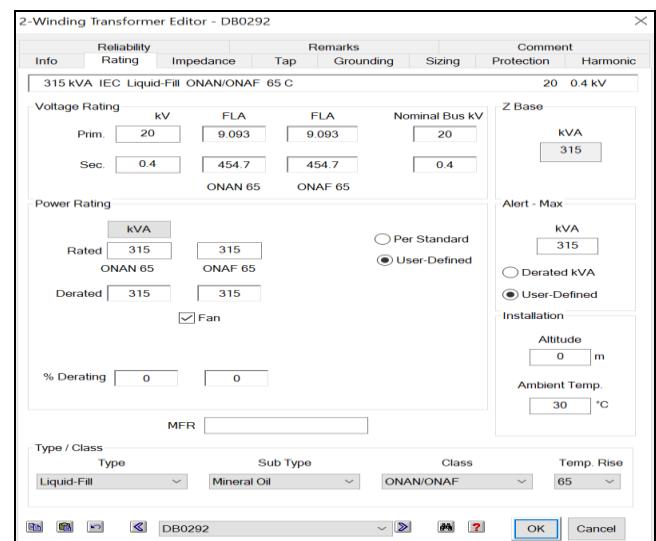
2.5 Input data

Data Power Grid didapatkan dari data UP3 Bali Selatan yang menyatakan bahwa transformator daya untuk gardu DB0575 penyulang pidada yaitu berasal dari transformator 4 yang berkapasitas 60 MVA, dengan tegangan primer 150 KV dan sekunder 20 KV. sedangkan pada gardu DB0292 penyulang merpati yaitu berasal dari transformator 3 yang berkapasitas 60 MVA dengan tegangan primer 150 KV dan sekunder 20 KV.



Gambar 5. Input data Power Grid pada ETAP 16.00

Data transformator yang didapatkan dilapangan diinput sesuai dengan *name plate* transformator, sedangkan pada data lainnya dapat menggunakan data dari *library* yang sudah tersedia pada *software* ETAP 16.00 seperti pada Gambar 6.

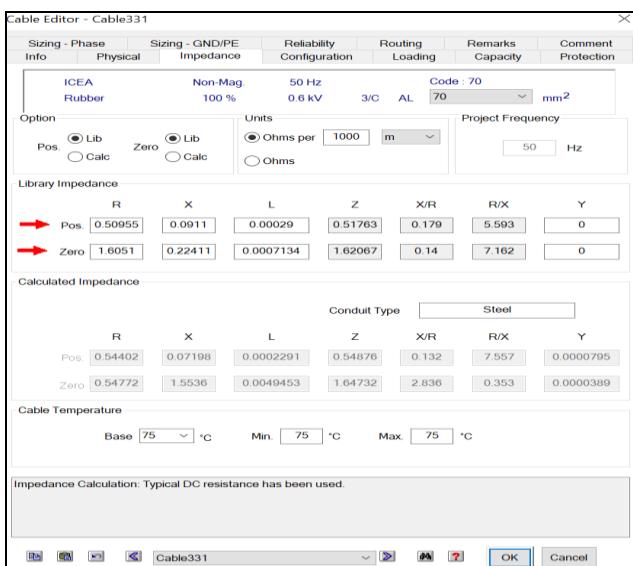


Gambar 6. Input data transformator pada ETAP 16.00

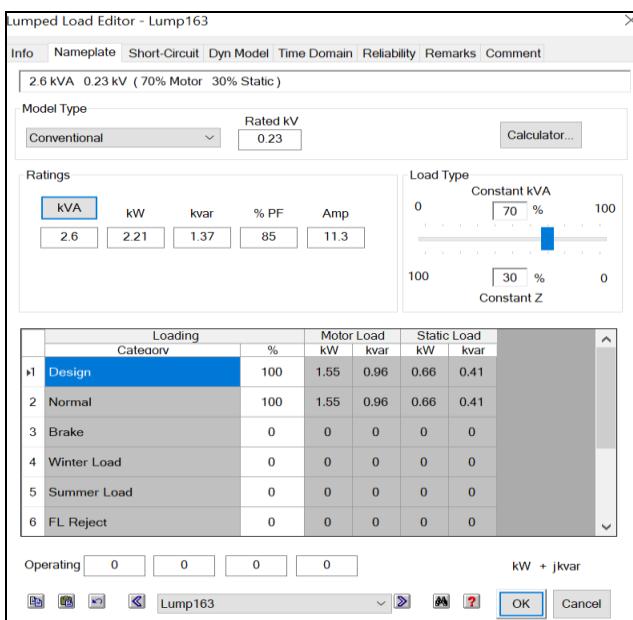
Penghantar yang digunakan pada masing-masing jurusan gardu DB0575 dan DB0292 menggunakan

pengantar jenis NFA2X-T $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$ dengan panjang yang disesuaikan dengan hasil pengukuran di lapangan yang cuplikan dalam input data pengantar dalam dilihat pada Gambar 7 dan 8.

Data beban dari setiap pelanggan disesuaikan dengan daya terpasang yang terdapat pada pelanggan yang akan di-input pada software ETAP 16.00 untuk memastikan hasil running ETAP dapat mewakili kondisi sebenarnya dilapangan. Pada menu Name Plate maka persentase perbandingan antara beban motor dan statis akan disesuaikan dengan pelanggan yang disuplai pada gardu tersebut. Pada Gardu DB0575 dan DB0292 merupakan gardu yang lebih banyak mensuplai pertokoan dan perumahan yang kebanyakan dari bebananya adalah statis maka persentase perbandingan antara beban statis dan beban motor diasumsikan 70%; 30%.



Gambar 7. *Input* data penghantar pada ETAP 16.00

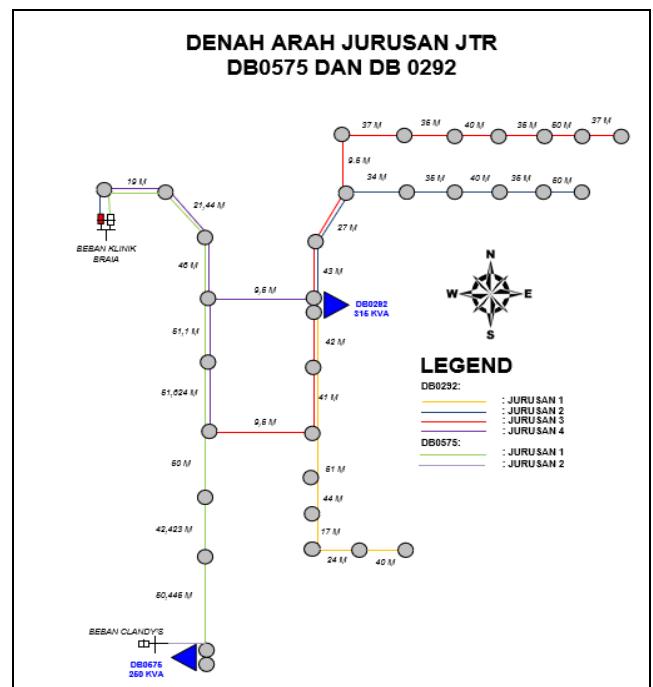


Gambar 8. Input data beban pada ETAP 16.00

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil skema dan prinsip kerja looping system jaringan tegangan rendah

Skema dan prinsip kerja looping jaringan tegangan rendah pada pelanggan premium yang mengoneksikan antara gardu DB0575 dan DB0292 ketika suplai utama dari pelanggan premium yaitu DB0575 pada jurusan 1 mengalami pemadaman akibat gangguan ataupun pemeliharaan tersebut memiliki sumber penyulang yang berbeda yaitu DB0575 dari Penyulang Pidada sedangkan DB0292 dari penyulang merpati sehingga diharapkan kedua gardu tidak mengalami gangguan dalam waktu bersamaan. Adapun prinsip kerjanya yakni dengan menekan tombol pada panel ACOS yang terdapat di pelanggan premium sehingga yang pada awalnya DB0292 dalam posisi NO (Normally Open) atau sebagai cadangan akan diubah menjadi NC (Normally Close). Sedangkan pada sisi Gardu 0575 akan diubah dari posisi NC (Normally Close) menjadi NO (Normally Open) sehingga kondisi pelanggan premium akan disuplai oleh gardu DB0292 untuk sementara waktu. Adapun Skema dari penerapan looping jaringan tegangan rendah dapat dilihat pada Gambar 9. Bila gardu DB0575 padam maka beban akan disuplai sementara oleh gardu DB0292. Kedua gardu



Gambar 9. Denah arah jurusan jaringan tegangan rendah

3.2. Hasil perhitungan persentase pembebanan Transformatör

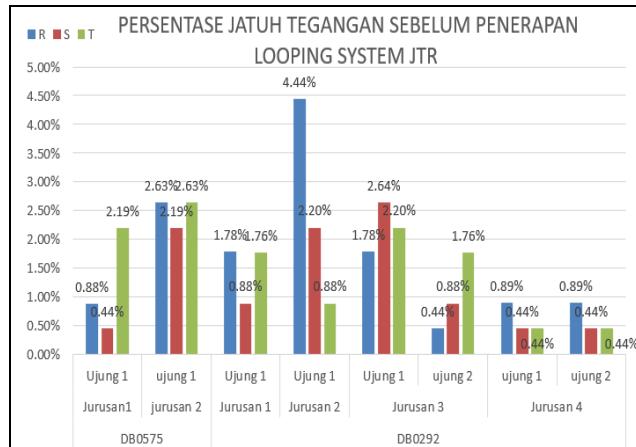
Untuk mengetahui bahwa kedua transformator dari DB0575 dan DB0292 dapat menyuplai pelanggan premium maka diperlukan analisis pembebanan transformator saat penerapan looping system jaringan tegangan rendah.

Percentase Pembebanan Transformator pada Gardu DB0575 dan DB0292 sebelum penerapan looping system jaringan tegangan rendah berturut-turut yaitu sebesar 28,2% dan 48,95% yang merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 maka

dapat dikategorikan dalam kondisi baik karena masih dalam range <60%. Sedangkan setelah dilakukan simulasi penambahan beban rata-rata pelanggan premium dengan menggunakan ETAP 16.00 pada gardu DB0575 dan DB0292 diperoleh pembebahan transformator berturut-turut menjadi 28,2% dan 51,9% yang juga dapat dikategorikan baik karena masih dalam range <60%.

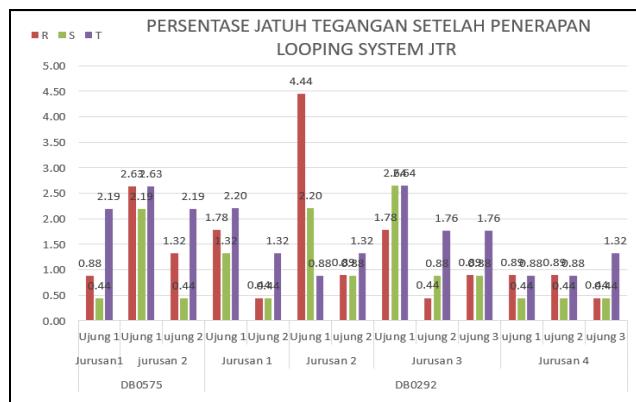
3.3 Hasil simulasi drop tegangan pada ETAP 16.00

Untuk mengetahui nilai drop tegangan saat masing-masing jurusan ditambahkan dengan beban pelanggan premium maka dilakukan simulasi dengan *software* ETAP 16.00.4.



Gambar 10. Diagram batang drop tegangan sebelum penerapan *looping* JTR

Persentase jatuh tegangan (ΔV) per fasa masing-masing jurusan pada gardu DB0575 dan DB0292 sebelum penerapan *looping* jaringan tegangan rendah terjadi pada jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berurut-turut sebesar 1.47%, 2.51%, 1.61%, dan 0.59%.



Gambar 11. Diagram batang drop tegangan setelah penerapan *looping* JTR

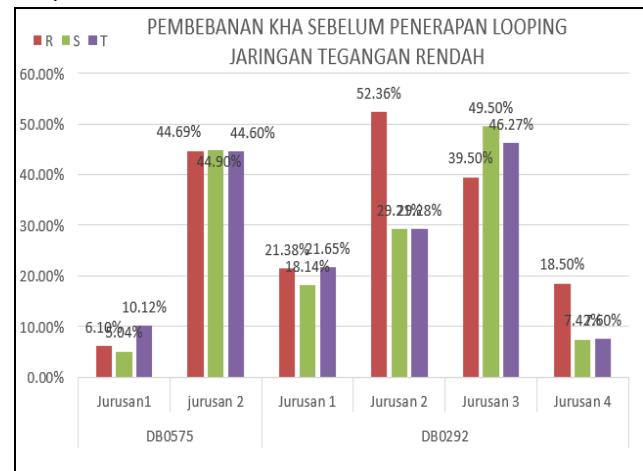
Kemudian, saat penerapan *looping* jaringan tegangan rendah hasil simulasi menunjukkan bahwa jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berurut-turut

sebesar 1.76%, 2.51%, 1.692%, dan 0.737%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa S dan T ujung 1 jurusan 1, fasa T ujung 1 Jurusan 3, fasa T ujung 1 dan 2 jurusan 4 mengalami kenaikan drop tegangan sehingga nilai rata-rata drop tegangan setelah penerapan *looping* jaringan tegangan rendah juga meningkat. Hasil drop tegangan sebelum dan sesudah penerapan *looping* jaringan tegangan rendah memiliki nilai drop tegangan yang sesuai dengan standar PLN yang ditetapkan yaitu 10%.

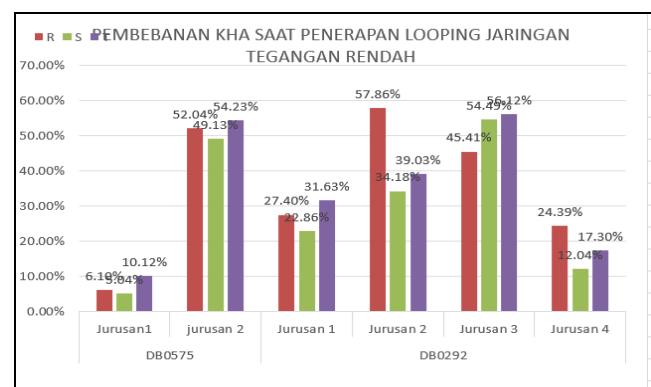
Adapun perbandingan drop tegangan pada saat sebelum dan saat penerapan *looping* jaringan tegangan rendah dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

3.4 Hasil perhitungan persentase pembebahan rating kabel.

Pembebahan KHA per fasa masing-masing jurusan pada gardu DB0575 dan DB0292 memiliki nilai yang tidak melebihi nilai KHA masing-masing penghantar yang digunakan yaitu kabel NFA2X-T 70mm² + 50 mm² dengan KHA penghantar sebesar 196 A.



Gambar 12. Diagram batang pembebahan kha sebelum penerapan *looping* JTR



Gambar 13. Diagram batang pembebahan kha saat penerapan *looping* JTR

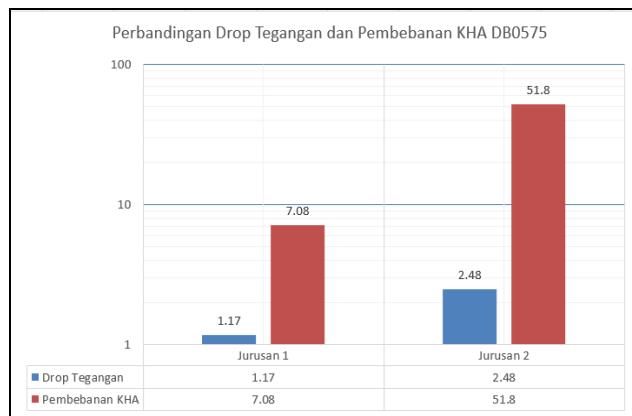
Sebelum penerapan *looping* jaringan tegangan rendah rating KHA kabel pada gardu DB0575 berada pada rentang 5,04% hingga 44,9% serta rating KHA pada Gardu DB0292 berada pada rentang 7,42% hingga 52,36%. sedangkan pada saat penerapan *looping* jaringan tegangan rendah rating KHA pada gardu DB0575 berada pada

rentang 5,04% hingga 54,23% serta rating KHA pada gardu DB0292 berada pada rentang 12.04% hingga 57.86%. Hasil tersebut dapat dikatakan baik yang merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 dengan nilai persentase pembebahan KHA kabel <60%.

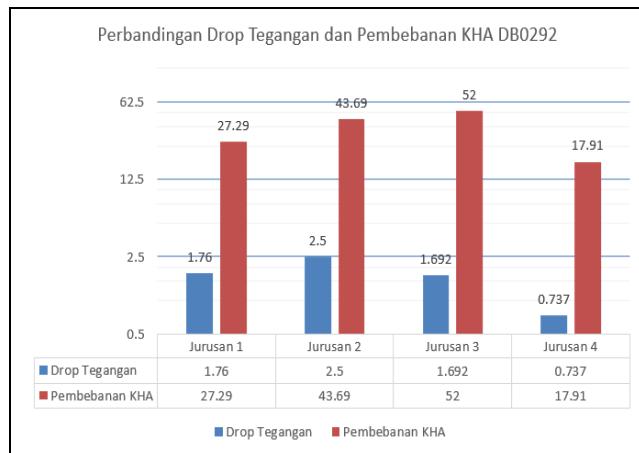
Adapun perbandingan hasil pembebahan outlet kabel sebelum dan sesudah penerapan *looping* jaringan tegangan dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13

3.5 Hasil analisis pemilihan alternatif jurusan penerapan looping system jaringan tegangan rendah

Penentuan jurusan terbaik penerapan looping jaringan tegangan rendah berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP 16.00 dan mempertimbangkan kondisi di lapangan maka jurusan 1 pada Gardu DB0575 dengan jurusan 4 gardu DB0292 direkomendasikan untuk dilakukan looping jaringan tegangan rendah karena memiliki nilai drop tegangan dan pembebahan KHA yang terkecil dibandingkan jurusan lainnya.



Gambar 14. Perbandingan drop tegangan dan pembebahan KHA pada DB0575



Gambar 15. Perbandingan drop tegangan dan pembebahan KHA pada DB0292

Adapun rincian drop tegangan yang terjadi: pada jurusan 1 gardu DB0575 memiliki nilai drop tegangan dengan rentang 0.44% hingga 2.19% dan rating KHA dengan rentang 5.04% hingga 10.12%. sedangkan pada jurusan 4 gardu DB0292 memiliki nilai drop tegangan

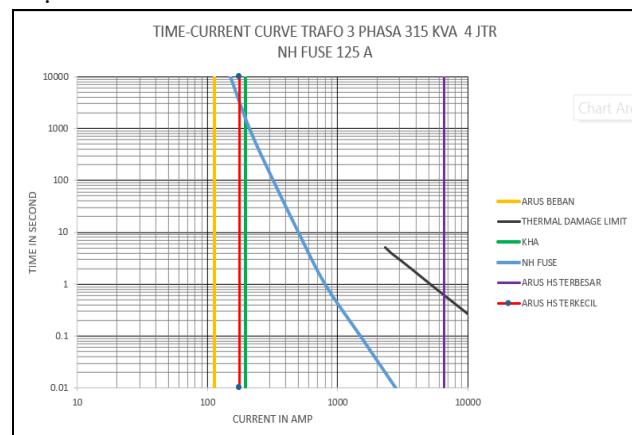
pada rentang 0.44% hingga 1.32% dan rating KHA dengan rentang 12.04% hingga 24.39%.

Selain itu, jurusan 1 pada gardu DB0575 merupakan jurusan yang mensuplai pelanggan premium sebelum dilakukan looping jaringan tegangan rendah sehingga tidak diperlukan penarikan kabel tambahan untuk melakukannya. Kemudian, berdasarkan denah arah jurusan pada Gambar 9 pada jurusan 4 gardu DB0292 memiliki arah ke barat yang sesuai dengan letak pelanggan premium di lapangan jika dibandingkan dengan jurusan lain yang mengarah ke utara dan selatan sehingga hanya memerlukan kabel tambahan yang relatif lebih pendek.

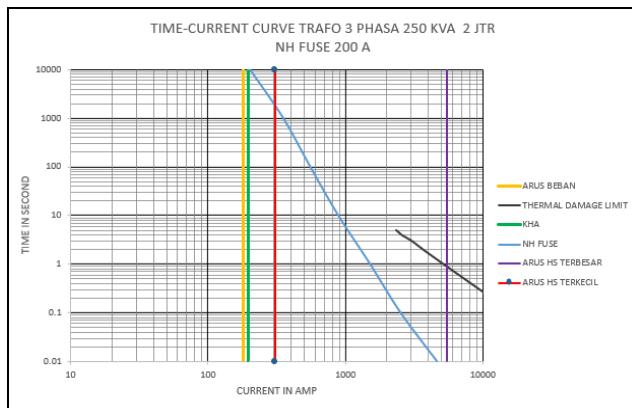
Adapun perbandingan drop tegangan dan KHA kabel pada masing-masing jurusan pada gardu DB0575 dan DB0292 dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15

3.6. Hasil analisis penentuan rating proteksi pada masing-masing gardu distribusi DB0575 dan DB0292

Penentuan setting proteksi NH Fuse yang digunakan disesuaikan dengan arus beban, KHA, thermal damage limit kabel, grafik TCC NH Fuse, arus hubung singkat terkecil dan terbesarnya. Berdasarkan perhitungan dan analisis secara teoritis maka pada gardu DB0575 setelah penerapan looping jaringan tegangan rendah memiliki nilai arus hubung singkat terkecil yaitu sebesar 175 A dan arus hubung singkat terbesar sebesar 6533 A.



Gambar 16. Grafik time current curve DB0292



Gambar 17. Grafik time current curve DB0575

Selanjutnya gardu DB 0575 direkomendasikan menggunakan NH Fuse 'gG' rated current 200 A dengan tegangan maksimum 690 V dan rated breaking capacity 50

kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 phasa 250 kVA 2 jurusan. Sedangkan untuk gardu DB0292 memiliki nilai arus hubung singkat terkecil sebesar 308 A dan arus hubung singkat terbesar sebesar 5488 A. Maka pada gardu DB0292 direkomendasikan menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 125 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 phasa 315 kVA 4 jurusan.

Adapun grafik *time current curve* untuk menentukan rating proteksi pada masing-masing gardu dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17

4. Kesimpulan

Skema dan prinsip kerja looping jaringan tegangan rendah yaitu dengan menggunakan ACOS (*Automatic Change Over Switch*) yang secara otomatis melokalisir beban apabila sumber utama mengalami pemadaman. Dimana saat kondisi normal maka sakelar pada sisi DB0575 akan posisi NC (*Normally Close*) dan DB0292 akan dalam posisi NO (*Normally Open*). Sedangkan saat terjadi pemadaman pada gardu DB0575 maka posisi akan berubah menjadi sebaliknya.

Persentase pembebanan transformator mengalami kenaikan saat penerapan looping jaringan tegangan dimana sebelum penerapan *looping system* jaringan tegangan rendah memiliki nilai berturut-turut yaitu sebesar 28,2% dan 48,95% sedangkan saat penerapan looping jaringan tegangan rendah pembebanan transformator berturut-turut menjadi 28,2% dan 51,9%. Persentase pembebanan transformator dapat dikategorikan baik yang merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014

Persentase Drop tegangan pada saat penerapan looping jaringan tegangan rendah mengalami kenaikan dimana sebelum penerapan looping jaringan tegangan rendah terjadi pada jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berurut-turut sebesar 1.47%, 2.51%, 1.61%, dan 0.59%. Kemudian, saat penerapan looping jaringan tegangan rendah hasil simulasi menunjukkan bahwa jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berurut-turut sebesar 1.76%, 2.51%, 1.692%, dan 0.737%. Drop tegangan masih dikatakan memenuhi standar yang merujuk pada SPLN No.1 Tahun 1995 dimana batas toleransi dari tegangan rendah yaitu +5% dan -10% dari tegangan nominal yaitu 230/400 Volt.

Pada pembebanan outlet kabel. Sebelum penerapan looping jaringan tegangan rendah rating KHA kabel pada gardu DB0575 berada pada rentang 5,04% hingga 44,9% serta rating KHA pada Gardu DB0292 berada pada rentang 7,42% hingga 52,36%. sedangkan pada saat penerapan looping jaringan tegangan rendah rating KHA pada gardu DB0575 berada pada rentang 5,04% hingga 54,23% serta rating KHA pada gardu DB0292 berada pada rentang 12,04% hingga 57,86%. Hal ini masih dapat dikategorikan baik karena tidak melebihi pembebanan maksimal dari

penghantar yang digunakan yaitu NFA2X-T 3 x 70mm² + 1x 50 mm² dengan KHA sebesar 196 A.

Kemudian berdasarkan analisis penentuan alternatif jurusan untuk penerapan looping jaringan tegangan rendah maka dapat disimpulkan bahwa jurusan 1 pada Gardu DB0575 dan jurusan 4 pada gardu DB0292 adalah jurusan yang direkomendasikan dilakukan looping jaringan tegangan rendah. Hal ini dikarenakan tersebut memiliki nilai drop tegangan dan pembebanan KHA yang terkecil dibandingkan dengan jurusan lainnya pada gardu yang sama. Pada jurusan 1 gardu DB0575 memiliki nilai drop tegangan dengan rentang 0.44% hingga 2.19% dan rating KHA dengan rentang 5.04% hingga 10.12%. sedangkan pada jurusan 4 gardu DB0292 memiliki nilai drop tegangan pada rentang 0.44% hingga 1.32% dan rating KHA dengan rentang 12.04% hingga 24.39%.

Berdasarkan analisis dengan mempertimbangkan arus beban, KHA, *thermal damage limit* kabel, grafik *TCC NH Fuse*, arus hubung singkat terkecil dan terbesarnya maka pada gardu DB0575 setelah penerapan looping jaringan tegangan rendah direkomendasikan menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 200 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 phasa 250 kVA 2 jurusan. Sedangkan untuk gardu DB0292 menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 125 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 phasa 315 kVA 4 jurusan.

Berdasarkan analisis dari beberapa indikator penerapan *looping system* jaringan tegangan rendah maka dapat disimpulkan *looping system* dapat dilakukan untuk pelanggan premium *bronze* Klinik Braia melalui jurusan 1 gardu DB0575 dan jurusan 4 pada gardu DB0292 karena memiliki indikator yang sesuai dengan standar-standar yang berlaku.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim redaksi Jametech atas diterima dan diterbitkan artikel ini. P3M selaku pengelola serta para peneliti lain atas masukannya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak PT. PLN (Persero) ULP Denpasar atas dukungan data dan informasinya, semoga artikel ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melaksanakan *looping system* jaringan tegangan rendah pada pelanggan premium *bronze* Klinik Braia.

Secara umum, semoga artikel ini dapat menginspirasi dan dikembangkan kembali oleh para peneliti lainnya. Harapannya, dari ide yang sederhana berkembang menjadi lebih luas sehingga dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi kedepannya.

Daftar Pustaka

- [1] Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014, "Metode Pemeliharaan Tranfo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, PT. PLN (Persero)", 2014.
- [2] SPLN No. 1 Tahun 1995, "Standar-standar tegangan" Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 1995

- [3] PT PLN (Persero), "Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," Jakarta: PT PLN (Persero), 2010.
- [4] O. Penangsang, dan N.K. Aryani, "Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System)," Jurnal Teknik ITS, 6(1), 2017, pp. B66-B71.
- [5] I.W. Sudiartha, I.P. Sutawinaya, I.K. Ta, dan Firman, "Manajemen Trafo Distribusi 20 kV Antar Gardu BL031 dan BL033 Penyulang Liligundi dengan Menggunakan Simulasi Program Etap". Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi, 16(3), 2017, 166.
- [6] I.P. Sutawinaya, A.A.N.M. Narottama, dan I.G.N. Ade Pujana, "Meningkatkan kinerja gardu distribusi SK76 Penyulang Sukasada dalam menangani overblast menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP", Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology, 3, 2022, 1-7.
- [7] P. Sumardjati, S. Yahya, A. Mashar, "Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 3", Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta 2008 drop tegangan jaringan tegangan rendah pada gardu distribusi GA 0032 penyulang Wibrata", Matrix, 7, 2017, pp. 42-46.
- [8] Suhadi, dkk., "Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1," Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008.
- [9] F. Shookoh, "User guide ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) releases version 16.0", Operation Technology, Inc. ETAP group of companies, 2016.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>

p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Pengaruh sistem distribusi air pada *cooling pad* terhadap performansi *evaporative cooling*

I Kadek Dwiana¹, Luh Putu Ike Midiani^{1*}, I Dewa Gede Agus Tri Putra¹

¹Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

*Email: putuikemidiani@pnb.ac.id

Abstrak

Evaporative cooling bekerja dengan mengalirkan udara lingkungan, selanjutnya udara mengalir bersinggungan pada pad yang telah diteteskan air di sisi depan blower/fan. Air diserap pad di bagian atas dan sisa tetesan air jatuh di water tank. Air dari water tank disirkulasikan menuju sisi atas pad dengan bantuan pompa. Udara dingin keluar pad dihembuskan oleh blower atau fan ke lingkungan sekitarnya, dan terjadilah proses pendinginan. Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan performansi sistem Evaporative Cooling berbahan zeolit dengan mengukur temperatur dan RH udara pada beberapa posisi yaitu di luar ruang yang dikondisikan, saat setelah melewati pad dan di ruang yang dikondisikan. Dilakukan juga pencatatan kecepatan aliran udara, tegangan dan arus dari fan dan pompa. Dua kondisi distribusi air yang berbeda dilakukan yaitu dengan metode pad dispray dan pad direndam. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama 8 jam. Data dikumpulkan selama 5 hari berturut-turut. Sistem EC merupakan sistem pengkondisian udara alternatif yang ramah lingkungan dan rendah penggunaan energi. Dengan menggunakan bahan cooling pad yang ramah lingkungan dan memiliki kemampuan tetap basah akan membuat sistem EC beroperasi dengan baik. Penggunaan zeolit sebagai bahan cooling pad dengan kemampuan penyerapan dan penyimpanan airnya merupakan sebuah bahan cooling pad yang perlu dipertimbangkan. Masih perlu terus dilakukan perbaikan dimensi dan struktur pori cooling pad zeolit agar dapat memperbaiki proses penyerapan dan penyimpanan air.

Kata kunci: *evaporative cooling*, distribusi air, *cooling pad*, zeolit

Abstract: Evaporative cooling works by sucking air from the environment, then the air is in contact with a pad that is dripping with water on the front side of the blower/fan. Water soaks the pad at the top and the rest of these droplets will fall into the water tank below. Water is circulated from the water tank to the top of the pad with the help of a pump. The cold air coming out of the pad will be blown by the blower/fan into the environment, and the cooling process takes place. Data collection was carried out to obtain the performance of the Evaporative Cooling system made from zeolite by measuring the temperature and RH of the air at several positions, namely outside the conditioned room, after passing through the pad and in the conditioned room. Also recorded is air flow velocity, voltage and current from fans and pumps. Two different water distribution conditions were carried out, namely with the spray pad method and the soaked pad method. Data were collected every 10 minutes for 8 hours. Data were collected for 5 consecutive days. The EC system is an alternative air conditioning system that is environmentally friendly and low energy use. Using a cooling pad material that is environmentally friendly and has the ability to stay wet will make the EC system operate properly. The use of zeolite as a cooling pad material with the ability to absorb and store water is a cooling pad material that needs to be considered. It is still necessary to continue to improve the dimensions and pore structure of the zeolite cooling pad in order to improve the water absorption and storage process.

Keywords: *evaporative cooling*, water distribution, *cooling pad*, zeolite

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Pengkondisian udara mempunyai beberapa fungsi antara lain pengontrolan temperatur, pengontrolan kelembaban, dan kwalitas udara sehingga sesuai dengan kebutuhan pengguna. Adapun konsep pengkondisian udara nyaman (comfort AC) merupakan proses perlakuan udara untuk mengatur temperatur, kelembaban, kecepatan, kebersihan dan proses distribusinya secara serentak untuk mencapai kondisi kenyamanan yang diperlukan oleh penghuni di dalamnya. Sistem yang banyak digunakan dalam pengkondisian udara ruang hingga kini masih didominasi

sistem pendinginan kompresi uap yang berbasis refrigeran. Sistem ini kompak dan menawarkan kemudahan dalam operasinya. Tetapi sistem seperti ini kebanyakan masih menerapkan refrigeran berbasis CFC, dimana merupakan refrigeran yang bersifat merusak ozon dan menurut regulasi pemerintah refrigeran jenis ini harus berangsur angsur ditinggalkan [1].

Sistem pendingin evaporative cooling merupakan sistem pendingin tanpa menggunakan refrigerant yang relatif sederhana. Kontruksi dasarnya terdiri dari fan, cooling pad dan pompa untuk mensirkulasikan air dari bak

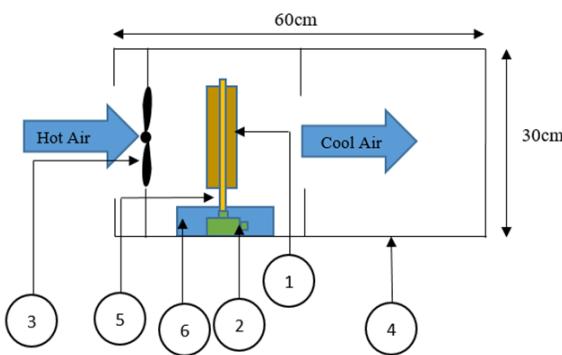
penampung ke bagian atas cooling pad. Fan menghisap udara luar masuk kedalam ruangan melalui lubang ventilasi dan udara luar akan bersentuhan dengan cooling pad, dimana cooling pad ini kelembabannya tetap dijaga. Setelah udara luar melewati cooling pad fan akan menghisap udara dan menghembuskan ke dalam ruangan. Karena ada penyemprotan air, kelembaban udara meningkat. Besarnya peningkatan tergantung dari kesempurnaan kontak antara air dan udara. Secara teoritis akan dapat dicapai kelembaban relatif 100 % dan terjadi penurunan temperatur udara terendah [2]. Konsep ini juga terjadi pada prinsip pendinginan dengan cooling tower [3]. Evaporative cooling relatif lebih mudah dipasang, ramah lingkungan dan tidak merusak ozon.

Selain itu daya listrik yang dibutuhkan lebih rendah sehingga lebih hemat energi [4]. Secara umum ada dua tipe evaporative cooling, yaitu direct evaporative cooling dan indirect evaporative cooling. Perbedaan dasarnya ada pada udara keluaran dari direct evaporative cooling (DEC) dengan kelembaban meningkat, sedangkan untuk indirect evaporative cooling (IEC) kelembaban udara konstan karena air pendingin tanpa kontak langsung dengan udara. Dari kedua tipe evaporative cooling tersebut, cooling pad memiliki peran penting dalam menentukan performansi sistem.

Cooling pad mempengaruhi perpindahan panas dan massa evaporative cooling, sehingga pemilihan bahan cooling pad dan distribusi air menjadi alternatif untuk memperbaiki performansi evaporative cooling [5]. Perpindahan panas yang baik juga akan mempengaruhi approach temperature pada condenser [6,7]. Bahan cooling pad pada penelitian sebelumnya adalah spon, serabut kelapa, karung goni, sumbu kompor, dan bahan anti selip. Pemilihan bahan berpori sebagai cooling pad masih belum banyak digunakan, dimana sifat permeabilitas dan porositas bahan berpori dapat meningkatkan efek pendinginan secara lebih sederhana dan efektif. Bahan berpori yang akan digunakan adalah zeolit alam. Selanjutnya distribusi air yang dikenakan pada cooling pad berpori adalah dengan metode dispray air dan direndam air [8].

2. Metode dan Bahan

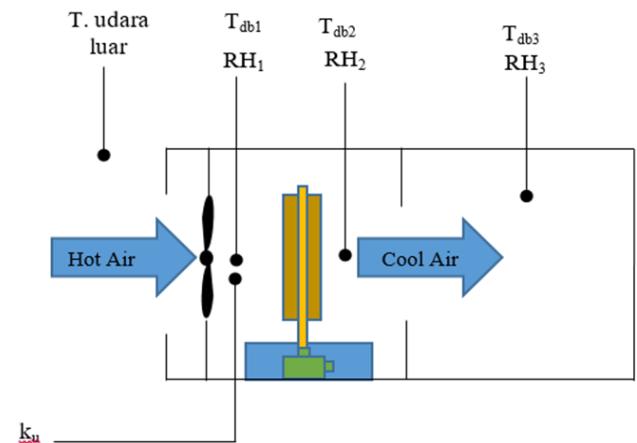
Jenis penelitian yang digunakan pada proposal skripsi ini adalah metode eksperimen, dengan menguji evaporative cooling berbahan pad zeolit dengan pendinginan pertama bahan pad yang disprey dan pendinginan kedua bahan pad yang direndam.



Gambar 1. Desain penempatan komponen utama

Keterangan penempatan komponen utama: 1. Cooling pad, 2. Pompa, 3. Fan, 4.Casing / box, 5.Pipa air, 6. Bak penampung air

Pada umumnya *evaporative cooling* bekerja dengan mengalirkan udara lingkungan sehingga bersinggungan dengan pad yang telah diteteskan air di sisi depan blower/fan. Air membasihi pad dengan bentuk mirip dengan jala-jala di bagian atasnya dan selanjutnya sisa tetesan air ini jatuh di water tank di bawahnya. Air dialirkan dari *water tank* ke sisi atas pad dengan menggunakan pompa. Sedangkan udara dingin yang keluar dari bantalan, dihisap dan dihembuskan oleh blower/fan ke lingkungan dan proses pendinginan dapat seterusnya berlangsung.



Gambar 2. Desain penempatan alat ukur

Keterangan: T = Temperatur udara luar lingkungan; T_{db1} = Temperatur Bola Kering 1; T_{db2} = Temperatur Bola Kering 2; T_{db3} = Temperatur Bola Kering 3; RH udara luar lingkungan; RH_1 = Kelembaban udara 1; RH_2 = Kelembaban udara 2; RH_3 :Kelembaban udara 3; k_u = Kecepatan aliran udara

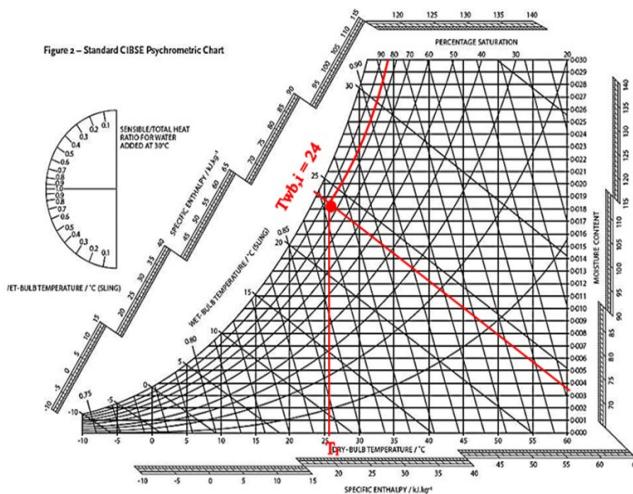
Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan untuk memperoleh data pengujian adalah sebagai berikut: Thermocouple, Anemometer, Stopwatch.

Proses pengambilan data pada Evaporative Cooling berbahan pad zeolit dilakukan dengan mengikuti prosedur pengujian sebagai berikut: Mempersiapkan alat ukur dan alat pengujian lainnya yang akan digunakan untuk pengambilan data seperti: Thermocouple, Anemometer, Stopwatch dan lainnya yang diperlukan. Selanjutnya memeriksa alat dan media sudah dalam kondisi yang baik dan siap digunakan untuk pengambilan data. Langkah pengambilan data yaitu : Menghidupkan sistem dan membiarkan sistem bekerja selama 20 menit. Kemudian melakukan pengambilan data dengan penuh hati-hati dan teliti dengan titik pengambilan data sebagai berikut : Temperatur udara luar, T_{db1} : Temperatur Bola Kering 1, T_{db2} : Temperatur Bola Kering 2, T_{db3} : Temperatur Bola Kering 3, RH udara luar, RH_1 :Kelembaban udara 1, RH_2 :Kelembaban udara 2, RH_3 :Kelembaban udara 3, k_u :Kecepatan aliran udara, setelah itu catat hasil pengambilan data dari awal sampai akhir sesuai dengan waktu yang ditentukan. Pengambilan data setiap 10 menit sekali selama 8 jam, dan jika sudah selesai matikan sistem dalam posisi OFF.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini ada 2 Variasi yaitu : (a) Menggunakan bahan pad yang di spray air (b) Menggunakan bahan pad yang di rendam air. Setelah itu data penelitian akan dianalisa pada *psychometric chart*.

Psychrometric chart dapat dipergunakan untuk mendapatkan data-data lain yang diperlukan dalam penelitian ini. Psychrometric chart dapat membantu dalam melakukan perhitungan dan mengetahui karakteristik dari *evaporative cooling*. Psychrometric chart digunakan untuk mengetahui pengaruh sistem distribusi air pada cooling pad terhadap performansi evaporative cooling. Dalam menggambar psychrometric chart, ada beberapa data yang diperlukan dari data penelitian, yaitu temperatur bola kering udara masuk (T_{dbA}), temperatur bola basah udara masuk (T_{wbA}), temperatur bola kering udara keluar (T_{dbB}), dan temperatur bola basah udara keluar (T_{wbB}).



Gambar 3. $T_{wb,i}$ yang di spray air

Di bawah ini perhitungan untuk mengetahui karakteristik evaporative cooling dengan variasi yang dispray air. Dilakukan perhitungan-perhitungan seperti (a) efektivitas cooling pad, (b) kapasitas pendinginan cooling pad, (c) menentukan nilai EER.

a. Efektivitas cooling pad yang dispray air

Efektivitas ini dapat ditentukan dengan adanya penurunan temperatur bola kering dibagi dengan selisih antara temperatur bola kering dan temperatur bola basah udara yang masuk kedalam sistem. Dengan demikian efektivitas dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta T_{db} &= T_{db,i} - T_{db,o} \\ &= 26^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C} \\ &= 2^\circ\text{C} \\ \epsilon &= \frac{T_{db,i} - T_{db,o}}{T_{db,i} - T_{wb,i}} \\ &= \frac{26^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}}{26^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}} \\ &= \frac{2^\circ\text{C}}{2^\circ\text{C}} \\ &= 1^\circ\text{C}\end{aligned}$$

b. Menentukan nilai kapasitas pendinginan cooling pad

Untuk menentukan kapasitas pendinginan sensibel diperlukan parameter data seperti laju aliran udara, kalor jenis udara, panas spesifik udara, temperatur udara masuk dan keluar sistem. Maka dari parameter tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$qs = Q \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{db,i} - T_{db,o})$$

Dimana :

$$Q = v \times A$$

$$= 2,4 \text{ m/s} \times (p = 0,25 \text{ m} \cdot l = 0,30 \text{ m})$$

$$= 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp = 4,186 \text{ kJ/kg}$$

Maka :

$$qs = 0,18 \cdot 1,29 \cdot 4,186 \cdot (26 - 24)$$

$$qs = 1,943 \text{ kW}$$

c. Menentukan nilai EER (Efisiensi Energy Ratio)

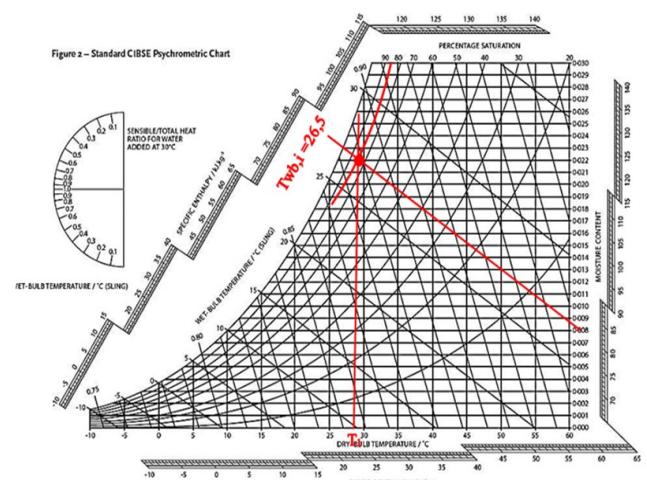
EER merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan daya input komponen cooling pad. Dimana pada variasi cooling pad yang dispray terdapat dua komponen konsumsi daya yaitu pompa sirkulasi air dan fan dengan masing-masing daya 8 W dan 35 W berturut-turut. Maka dapat dihitung nilai EER seperti dibawah ini:

$$EER = \frac{\text{kapasitas pendinginan}}{\text{konsumsi daya}}$$

$$EER = \frac{1,943 \text{ kW}}{0,43 \text{ kW}}$$

$$EER = 4,51$$

Untuk perhitungan selanjutnya yakni dengan variasi cooling pad yang direndam air dengan parameter karakteristik evaporative cooling sama seperti perhitungan di atas.



Gambar 4. $T_{wb,i}$ yang di rendam air

a. Efektivitas cooling pad yang direndam air

Efektivitas ini juga dapat ditentukan dengan adanya penurunan temperatur bola kering dibagi dengan selisih antara temperatur bola kering dan temperatur bola basah

udara yang masuk kedalam sistem. Dengan demikian efektivitas dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta TdB = TdB,i - TdB,o$$

$$= 28^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$$

$$= 2^\circ\text{C}$$

$$\epsilon = \frac{TdB,i - TdB,o}{TdB,i - TwB,i}$$

$$= \frac{28^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}}{28^\circ\text{C} - 26,5^\circ\text{C}}$$

$$= \frac{2^\circ\text{C}}{1,5^\circ\text{C}}$$

$$= 1,3^\circ\text{C}$$

b. Menentukan nilai kapasitas pendinginan cooling pad

Untuk menentukan kapasitas pendinginan sensibel diperlukan parameter data seperti laju aliran udara, kalor jenis udara, panas spesifik udara, temperatur udara masuk dan keluar sistem. Maka dari parameter tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$qs = Q \cdot \rho \cdot Cp \cdot (TdB,i - TdB,o)$$

Dimana :

$$Q = v \times A$$

$$= 2,4 \text{ m/s} \times (p = 0,25 \text{ m} \cdot 1 = 0,30 \text{ m})$$

$$= 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp = 4,186 \text{ kJ/kg}$$

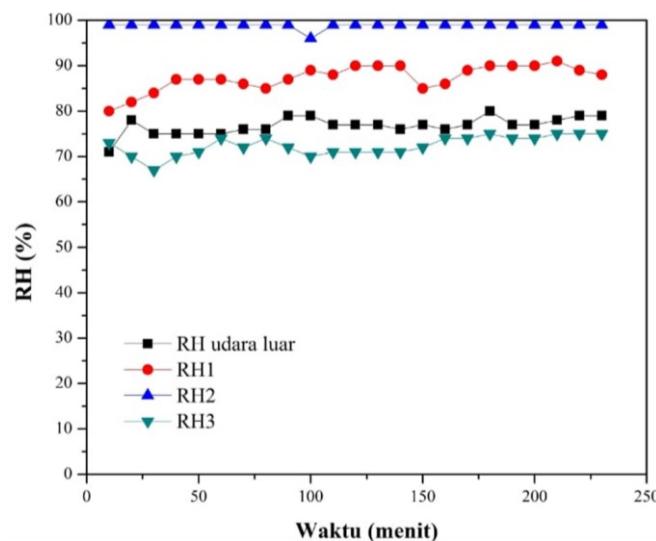
Maka :

$$qs = 0,18 \cdot 1,29 \cdot 4,186 \cdot (28 - 26)$$

$$qs = 1,943 \text{ kW}$$

c. Menentukan nilai EER (Efisiensi Energy Ratio)

EER merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan daya input komponen cooling pad. Dimana pada variasi cooling pad yang direndam air terdapat satu komponen konsumsi daya yaitu fan dengan daya 35 W.



Gambar 5. Grafik RH dengan bahan pad yang di sprai air

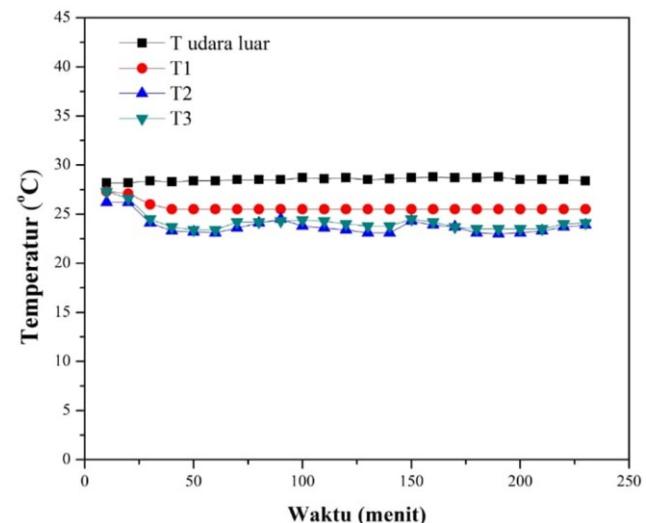
Maka dapat dihitung nilai EER seperti di bawah ini:

$$EER = \frac{\text{kapasitas pendinginan}}{\text{konsumsi daya}}$$

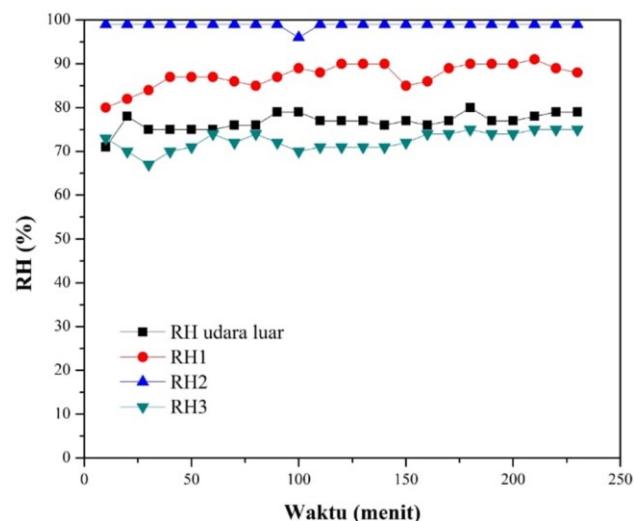
$$EER = \frac{1,943 \text{ kW}}{0,35 \text{ kW}}$$

$$EER = 5,55$$

Penelitian dilakukan untuk membandingkan performansi sistem evaporative cooling dengan metode cooling pad yang dispray air dan perendaman cooling pad. Data yang diperoleh adalah temperatur dan RH udara lingkungan dan pada ruang yang dikondisikan



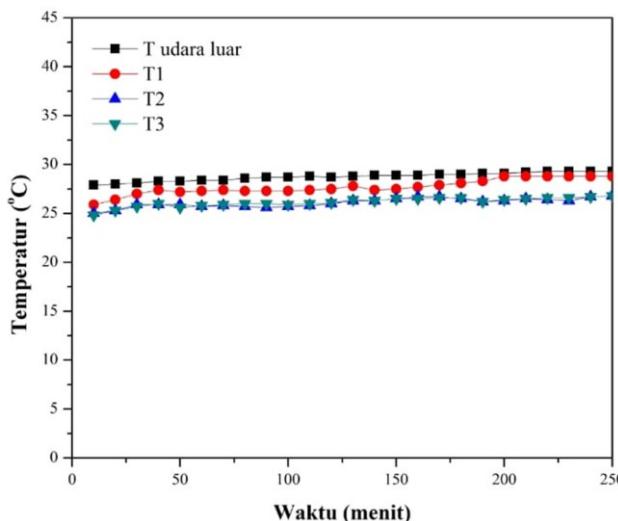
Gambar 6. Grafik temperatur dengan bahan pad yang dispray air



Gambar 7. Grafik RH dengan bahan pad di rendam air

Distribusi temperatur dan RH udara untuk sistem evaporative cooling dengan metode cooling pad yang dispray air dan metode perendaman cooling pad dapat dilihat pada gambar 3 sampai 8. Gambar 5 dan 6 menunjukkan temperatur udara lingkungan menurun dan RH meningkat setelah melewati cooling pad yang dispray air. Perubahan temperatur lingkungan rata-rata 29°C menjadi 24°C. RH udara meningkat dari rata-rata 77% menjadi 99%. Gambar 7 dan 8 menunjukkan temperatur udara lingkungan menurun dan RH meningkat setelah melewati cooling pad yang direndam air. Perubahan temperatur lingkungan rata-rata 29°C menjadi 26°C. RH udara meningkat dari rata-rata 79% menjadi 91%. Sesuai dengan pernyataan bahwa sistem evaporative cooling merupakan suatu proses pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan dan

menambah kelembaban pada aliran udara, sehingga temperatur bola kering menjadi lebih dingin daripada sebelum mengalami proses penguapan [1]. Konversi panas sensibel menjadi panas latent menyebabkan penurunan temperatur lingkungan karena air yang diuapkan memberikan pendinginan yang berguna [2,3].



Gambar 8. Grafik temperatur dengan bahan Pad yang di remdam air

Performansi sistem evaporative cooling untuk masing-masing metode pembasahan cooling pad menunjukkan bahwa metode perendaman cooling pad memiliki performansi yang lebih tinggi. Performansi cooling pad dengan metode dispray adalah 4.51, dengan menggunakan metode perendaman cooling pad performansinya adalah 5.55. Metode perendaman cooling pad tidak menggunakan pompa untuk membasahi cooling pad, sehingga energi yang diperlukan untuk membasahi cooling pad lebih rendah. Dengan merendam cooling pad zeolite, air tetap tersimpan pada cooling pad dan menjaga cooling pad tetap basah.

4. Kesimpulan

Sistem EC merupakan sistem pengkondisian udara alternatif yg ramah lingkungan dan rendah penggunaan energi. Dengan menggunakan bahan cooling pad yang ramah lingkungan dan memiliki kemampuan tetap basah akan membuat sistem EC beroperasi dengan baik. Penggunaan zeolit sebagai bahan cooling pad dengan

kemampuan penyerapan dan penyimpanan airnya merupakan sebuah bahan cooling pad yang perlu dipertimbangkan. Masih perlu terus dilakukan perbaikan dimensi dan struktur pori cooling pad zeolit agar dapat memperbaiki proses penyerapan dan penyimpanan air.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada tim redaksi Jametech atas diterbitkan artikel ini, juga kepada P3M sebagai pengelola penelitian Politeknik Negeri Bali serta peneliti, teknisi dan mahasiswa atas masukannya.

Daftar pustaka

- [1] P. Rachman and B. Yunianto, "Pengaruh Jenis Water Sprayer Terhadap Efektivitas," 3(2), 2014, pp. 143–148.
- [2] Hidayati, Baiti, F. Irawan, and Y.B. Herawati, "Analisis Kelembaban Udara Pada AC Split Wall Usia Pakai 8 Tahun Dengan Kapasitas 18000 Btu/Hr." Jurnal Austenit, 13(1), 2021, 8–12.
- [3] I.N. Suamir, I.N. Ardita, I.M. Rasta, "Effects of Cooling Tower Performance to Water Cooled Chiller Energy Use: a Case Study toward Energy Conservation of Office Building", International Conference on Applied Science and Technology (iCAST) 1, 2018, 712-717.
- [4] M. D. Zakari et al., "Design and construction of an evaporative cooling system for the storage of fresh tomato," ARPN J. Eng. Appl. Sci., 11(4), 2016, pp. 2340–2348.
- [5] Carvalho, Austrio, Francisco, and D.E. Lopes, "Pengaruh Jumlah Cooling Pad Terhadap Kondisi Udara Yang Dihasilkan Air Cooler Skripsi", 2021.
- [6] I.N. Suamir, I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, I.W. Temaja, "The Role of condenser approach temperature on energy conservation of water cooled chiller", Advanced Science Letters, 23(12), 2017, 12202-12205.
- [7] I.N. Suamir, I.N. Ardita, I.G.A.B. Wirajati, "Waste heat recovery from central AC system for hot water supply; a case study for hotel building application in Indonesia", Advanced Science Letters, 23(12), 2017, 12206-12210.
- [8] H. Ariyanto, "Pengaruh Jumlah Cooling Pad Jenis Kain Goni Terhadap Kondisi Udara Yang Dihasilkan Pada Air Cooler", Repository Unan, 3, 2017, 54–67.

e-ISSN 2684-8201



p-ISSN 2655-9145



JAMETECH

Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Politeknik Negeri Bali,
Jl. Kampus, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung
Bali - Indonesia 80364 - PO BOX 1064
Telp. (+62)361 701981 Fax. (+62)361 701128
Email: jametech@pnb.ac.id

