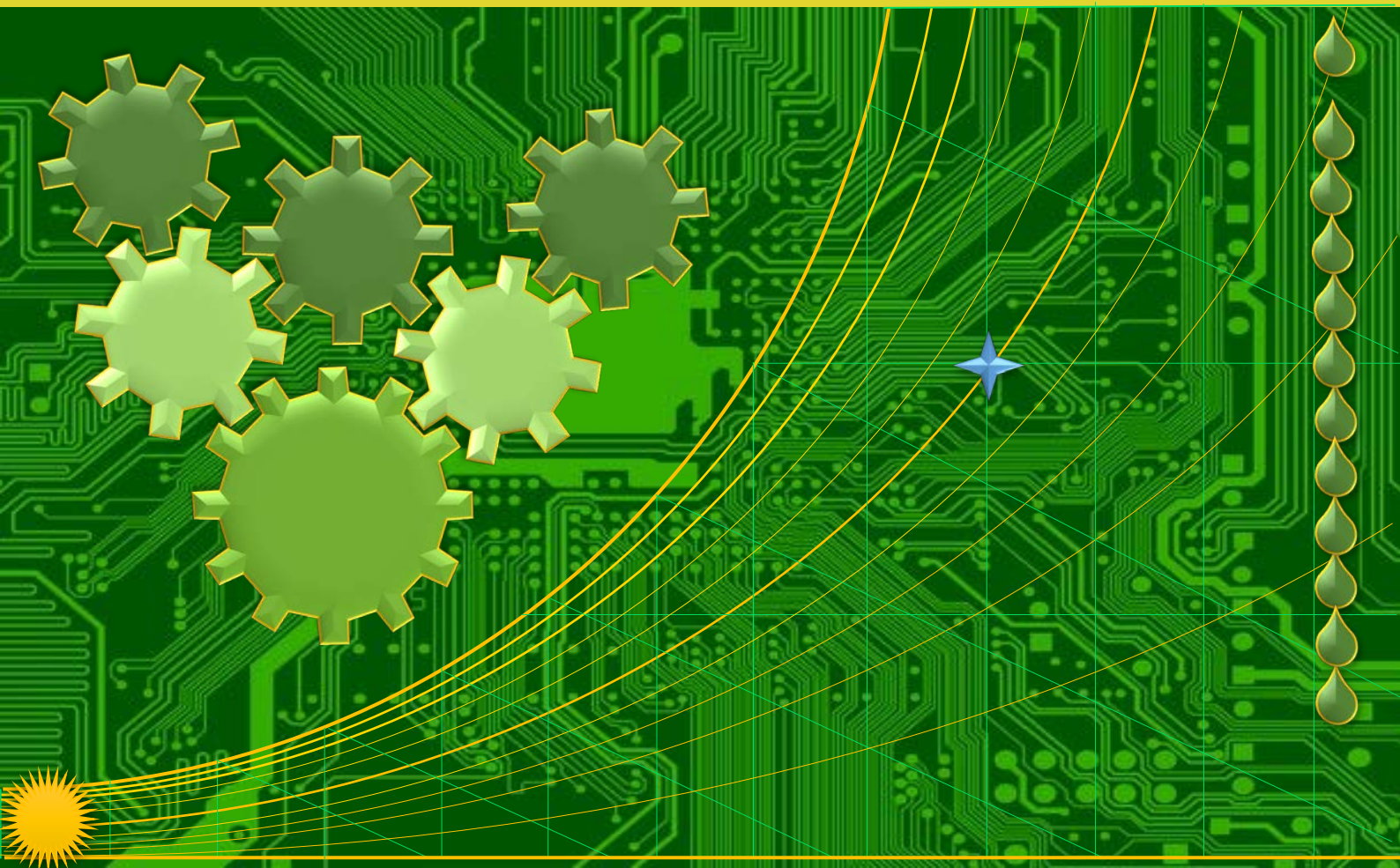
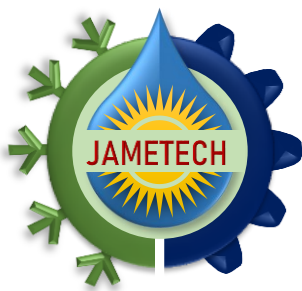




JAMETECH

**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 Sugiarta (*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 Budiarsa (*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 1 published in March 2022. The current issue includes 7 papers which covers 42 pages from 1 to 42.

Best Regards,
JAMETECH Editorial Team

TABLE OF CONTENTS

Meningkatkan kinerja gardu distribusi SK76 Penyulang Sukasada dalam menangani overblast menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP	1-7
<i>I Putu Sutawinaya, A.A.N.M. Narottama, dan I.G.N. Ade Pujana</i>	
Perancangan mekanisme rel torch plasma cutting 1 (satu) axis	8-12
<i>I Wayan Suma Wibawa, I Komang Kantun, I Ketut Suherman, Risa Nurin Baiti dan I Wayan Suirya</i>	
Analisis modifikasi sistem kopling otomatis ke sistem kopling manual terhadap akselerasi sepeda motor Supra-X tahun 2014	13-17
<i>I Nyoman Sutarna, I Nengah Ludra Antara, I Ketut Suherman dan I Ketut Adi</i>	
Simulasi sistem pompa suplai air bersih dengan kontrol berbasis PLC	18-23
<i>Sudirman, I Nyoman Gede Baliarta, I Ketut Suherman dan Achmad Wibolo</i>	
Motorcycle wheel rim press tool design	24-30
<i>I Nengah Ludra Antara, I Nyoman Sutarna, Ida Bagus Puspa Indra dan I Nyoman Gunung</i>	
Penentuan ukuran pipa kapiler dengan program aplikasi CapSel Versi 1.0 pada AC trainer unit jenis ekspansi langsung dengan R-410A	31-35
<i>I Dewa Made Susila, I Wayan Adi Subagia dan I Made Rasta</i>	
Kajian termodinamik kinerja AC split: studi kasus pada bangunan pendidikan dengan menerapkan program komputer	36-42
<i>I Wayan Adi Subagia, I Dewa Made Susila, Ketut Bangse dan I Nyoman Suamir</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

Meningkatkan kinerja gardu distribusi SK76 Penyulang Sukasada dalam menangani overblast menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP

I Putu Sutawinaya^{1*}, A.A.N.M. Narottama¹, dan I.G.N. Ade Pujana¹

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

*Email: sutawinaya_putu@pnb.ac.id

Abstrak

Transformator distribusi berfungsi untuk mentransformasikan energi listrik dari sumber listrik ke pelanggan. Dalam proses transformasi terdapat rugi-rugi daya yang tentunya dapat menurunkan nilai efisiensi Transformator tersebut. Pembebanan pada transformator yang relatif tinggi akan menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya, sehingga efisiensinya akan menurun. Gardu Distribusi SK76 Penyulang Sukasada dengan kapasitas Transformator 100 kVA menyuplai 253 pelanggan dengan daya terpasang 273 kVA. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan ketika waktu beban puncak (WBP), diperoleh rata-rata persentase pembebanan Transformator tersebut sebesar 99,57% dengan efisiensi 98,02%. Merujuk Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. : 0017.E/DIR/2014, maka Transformator tersebut telah dinyatakan overload (overblast) karena pembebanannya sudah melebihi 80%. Upaya yang dapat dilakukan untuk dapat memperbaiki kinerja Transformator diantaranya adalah : melakukan uprating kapasitas Transformator, penambahan gardu sisipan atau melalui rekonfigurasi jaringan. Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan oleh Penulis melalui simulasi perangkat lunak ETAP 16.0, diperoleh beberapa hasil. Apabila dilakukan uprating dengan kapasitas transformator sebesar 160 kVA, maka persentase pembebanannya menurun menjadi sekitar 61,46% dengan efisiensi meningkat menjadi sekitar 98,77%. Apabila dilakukan penambahan gardu sisipan dengan kapasitas 50 kVA maupun dengan rekonfigurasi jaringan melalui pemindahan sebagian beban ke Gardu Distribusi lain (SK63), hasilnya sama-sama dapat menurunkan persentase pembebanan yakni menjadi sekitar 63,17% dan efisiensi meningkat menjadi sekitar 98,46%. Hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kondisi ini sudah memenuhi ketentuan/regulasi yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero).

Kata kunci: Transformator, Gardu dan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Perangkat lunak Etap 16.0

Abstract: Distribution transformer serves to transform electrical energy from the power source to the customer. In the transformation process there are power losses which of course can reduce the efficiency of the transformer. The relatively high loading on the transformer will cause an increase in power losses, so its efficiency will decrease. The Sukasada Feeder SK76 Distribution Substation with a transformer capacity of 100 kVA supplies 253 customers with an installed power of 273 kVA. Based on the measurements that have been made during the peak load time (WBP), the average percentage of the transformer loading is 99.57% with an efficiency of 98.02%. Referring to the Circular of the Directors of PT. PLN (Persero) No.: 0017.E/DIR/2014, then the transformer has been declared overload (overblast) because the load has exceeded 80%. Efforts that can be made to improve the performance of the transformer include: upgrading the capacity of the transformer, adding additional substations or through network reconfiguration. Based on the trials that have been carried out by the author through the simulation of the ETAP 16.0 software, several results were obtained. If an uprating is carried out with a transformer capacity of 160 kVA, the percentage of loading decreases to around 61.46% with efficiency increasing to about 98.77%. If additional substations are added with a capacity of 50 kVA as well as network reconfiguration by transferring some of the load to another Distribution Substation (SK63), the result is that the percentage of loading is reduced to around 63.17% and efficiency increases to about 98.46%. The simulation results that have been carried out show that this condition has met the provisions/regulations set by PT. PLN (Persero).

Keywords: Transformer, Substations and Electric Power Distribution Network, software Etap 16.0

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

1.1. Umum

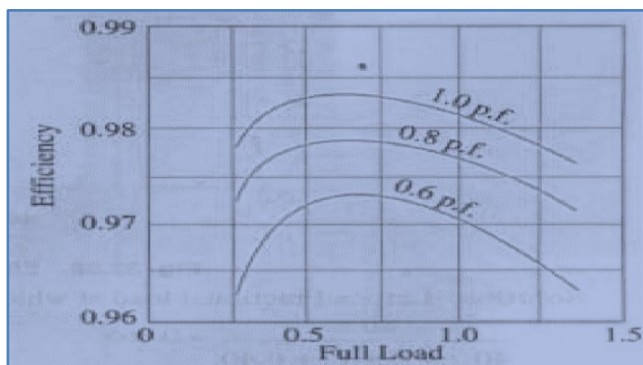
Dalam proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke pelanggan dibutuhkan transformator. Transformator berfungsi mentransformasikan tenaga listrik

dari tegangan yang lebih tinggi ke tegangan lebih rendah (*step down*). Demikian juga sebaliknya, dari tegangan lebih rendah ke tegangan tinggi (*step up*). Dalam proses transformasi tersebut terdapat rugi-rugi daya pada transformator, yaitu rugi inti besi dan rugi tembaga. Rugi

inti pada transformator cenderung konstan pada berbagai beban sedangkan rugi tembaga akan berubah seiring perubahan beban. Rugi-rugi ini terbuang menjadi panas yang akan meningkatkan temperatur transformator serta akan mempengaruhi efisiensi dari transformator itu sendiri [3,4]. Pembebanan yang relatif besar pada transformator akan dapat mengurangi efisiensi transformator, Sebaliknya, pembebanan yang terlalu kecil dari kapasitasnya juga dapat menyebabkan efisiensi transformator menjadi rendah [5].

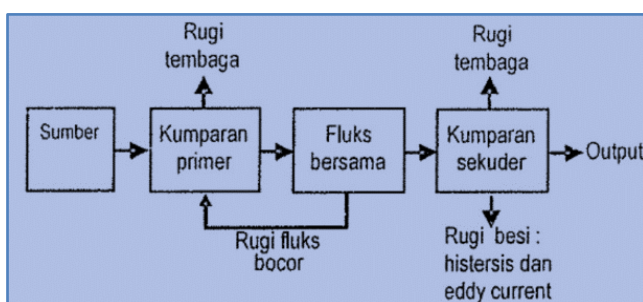
Menurut SPLN 50: 1997 tentang Spesifikasi Transformator Distribusi, efisiensi transformator lebih tinggi pada pembebanan 50% jika dibandingkan dengan pembebanan 100% dari kapasitas nominalnya pada faktor daya satu (1) [6]. Disamping itu, menurut Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) Nomor: 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, kondisi suatu transformator distribusi disebut baik apabila persentase pembebanannya < 60%, cukup baik pada 60% - < 80%, kurang baik pada 80% - < 100% dan buruk pada $\geq 100\%$ terhadap kapasitas nominalnya [7]. Pembebanan dan efisiensi Transformator yang tidak sesuai ketentuan tentunya akan dapat menurunkan keandalan sistem kelistrikkannya.

Efisiensi maksimum dari sebuah transformator didapatkan ketika rugi inti sama dengan rugi tembaga. Hubungan antara efisiensi dengan beban pada faktor daya yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 1^[3].



Gambar 1. Grafik hubungan efisiensi dengan beban pada faktor daya yang berbeda^[3]

Rugi-rugi yang timbul pada saat proses transformasi pada transformator diperlihatkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Rugi-rugi pada Transformator saat proses transformasi ^[4]

Total rugi tembaga (P_{cu}) pada transformator tiga fasa dapat ditentukan dengan persamaan berikut^[3],

$$P_{cu} = 3 \times I_2^2 \times R_{02} \quad (1)$$

di mana,

P_{cu} = rugi tembaga total (W)

I_2 = arus nominal sisi sekunder (A)

R_{02} = resistansi total ekuivalen yang ditinjau dari sisi sekunder (ohm).

Seperti mesin-mesin listrik lainnya, efisiensi transformator didefinisikan dengan perbandingan daya ke luar (*output*) dengan daya masuk (*input*) seperti rumus berikut^[3],

$$\eta = \frac{\text{Daya Output (W)}}{\text{Daya Input (W)}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\text{Daya Output (W)}}{\text{Daya Output (W)} + \text{Rugi Daya Total (W)}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{di mana, Rugi Daya Total} = P_{cu} + P_i \quad (4)$$

Secara praktis pembebanan pada transformator tiga fasa cenderung tidak seimbang. Pada transformator dengan pembebanan yang tidak seimbang akan menyebabkan rugi arus netral yang dapat mempengaruhi efisiensi transformator itu sendiri, sehingga rugi arus netral perlu diperhitungkan juga dengan persamaan berikut^[4] :

$$P_N = I_N^2 \times R_{02} \quad (5)$$

P_N = rugi arus netral (W)

I_N = arus netral (A)

R_{02} = resistansi total ekuivalen yang ditinjau dari sisi sekunder (ohm).

Rugi daya total pada transformator dengan pembebanan tidak seimbang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Rugi Daya Total} = P_{cu} + P_i + P_N \quad (6)$$

Dengan demikian untuk menentukan efisiensi transformator pada berbagai pembebanan serta dengan beban dan faktor daya pada setiap fasa yang berbeda, maka persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi yaitu:

$$\eta = \frac{((V_{RN} \times I_R \times \cos \phi_R) + (V_{SN} \times I_S \times \cos \phi_S) + (V_{TN} \times I_T \times \cos \phi_T))}{((V_{RN} \times I_R \times \cos \phi_R) + (V_{SN} \times I_S \times \cos \phi_S) + (V_{TN} \times I_T \times \cos \phi_T)) + P_i + P_{cu} + P_N} \times 100\% \quad (7)$$

Menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat menggunakan persamaan berikut^[2],

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{(I_R \times V_{RN}) + (I_S \times V_{SN}) + (I_T \times V_{TN})}{S_N} \times 100\% \quad (8)$$

di mana,

I_R = arus fasa R (A)

I_S = arus fasa S (A)

I_T = arus fasa T (A)

V_{RN} = tegangan fasa-netral R (V)

V_{SN} = tegangan fasa-netral S (V)

V_{TN} = tegangan fasa-netral T (V)

S_N = daya nominal transformator (VA)

1.2. Gardu Distribusi SK76 Penyulang Sukasada

Gardu Distribusi SK76 Penyulang Sukasada di bawah pengawasan PT. PLN (Persero) ULP Singaraja memiliki kapasitas 100 kVA dengan pelanggan sejumlah 253. Adapun riwayat data pengukuran tahunan pada Gardu Distribusi SK76 yang diukur pada saat waktu beban puncak (WBP) oleh PT. PLN (Persero) ULP Singaraja dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai faktor daya ($\cos \phi$) per fase untuk data riwayat pembebanan tahun 2018 dan 2019 diasumsikan sama dengan nilai rata-rata data hasil pengukuran tanggal 27 April – 10 Mei 2020. Di mana pada waktu beban puncak (WBP) terukur rata-rata sebesar 0,98 (fase R), 0,96 (fase S), dan 0,97 (fase S).

Tabel 1. Historis data tahunan gardu distribusi SK76

Tanggal	Waktu	Arus Induk (A)				% Pembebanan	Efisiensi
		IR	IS	IT	IN		
22/06/2018	Malam	48	94	106	52	56,38	98,31
29/10/2019	Malam	144	139	143	50	98,12	98,04

Berdasarkan data hasil pengukuran yang dilakukan pada 27 April hingga 10 Mei 2020 seperti ditunjukkan pada Tabel 2, dapat dihitung bahwa beban rata-rata yang terukur sebesar 99,57% dari kapasitas nominalnya dengan efisiensi sekitar 98,02%. Berdasarkan data historis Tahun 2019 dan data hasil pengukuran terbaru menunjukkan bahwa kondisi pembebanan Transformator tersebut relatif besar, sehingga Transformator dinyatakan sudah mengalami *overblast*. Tentunya hal ini berakibat dapat menurunkan kinerja Transformator tersebut.

Sebagai penyedia tenaga listrik, PT. PLN (Persero) dituntut oleh masyarakat selaku konsumen untuk dapat menyediakan tenaga listrik yang berkualitas baik. Melihat kondisi ini, maka PT. PLN (Persero) ULP Singaraja perlu segera melakukan upaya agar dapat mengatasi permasalahan tersebut.

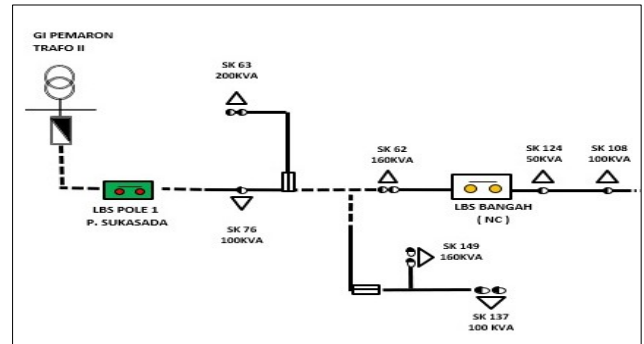
Tabel 2. Data hasil pengukuran arus induk gardu distribusi SK76

No.	Hari/Tanggal	Waktu	Arus Induk (A)			
			IR	IS	IT	IN
1	Senin, 27 April 2020	20.21	135,8	142,7	135,6	51
2	Selasa, 28 April 2020	20.17	134,7	151,7	130,7	48,2
3	Rabu, 29 April 2020	20.20	139	143,3	150,9	51,2
4	Kamis, 30 April 2020	20.16	134,3	136,6	146,9	51,5
5	Jumat, 1 Mei 2020	20.22	133,4	156,5	157,7	54,8
6	Sabtu, 2 Mei 2020	20.10	138,7	151,7	146,1	45,7
7	Minggu, 3 Mei 2020	20.11	129,9	144,1	164,3	59,3
8	Senin, 4 Mei 2020	20.04	132,3	144,5	158,5	56,3
9	Selasa, 5 Mei 2020	20.08	132,7	152,7	153,2	62,2
10	Rabu, 6 Mei 2020	20.03	131,4	145,7	150,6	53
11	Kamis, 7 Mei 2020	20.09	134,4	155,2	150,4	55,7
12	Jumat, 8 Mei 2020	20.30	130	141	148	50
13	Sabtu, 9 Mei 2020	20.05	128,9	136	140,2	51,3
14	Minggu, 10 Mei 2020	20.13	139,8	157,8	146	50,1
Rata-Rata			134,0	147,1	148,5	52,1

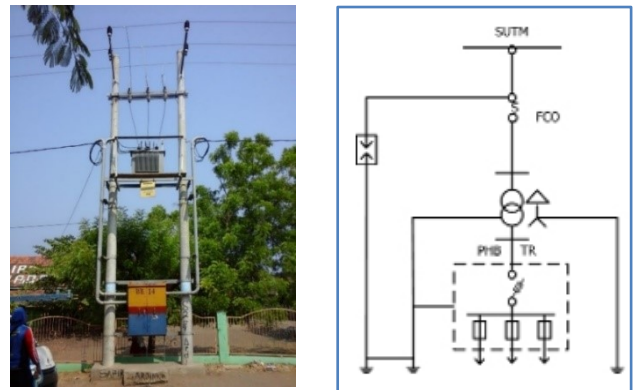
Adapun tata letak Gardu Distribusi SK76 Penyulang Sukasada adalah seperti ditunjukkan pada gambar 3, dan tampilan secara fisik di lapangan maupun gambar *Single Line* Gardu adalah seperti pada Gambar 4 berikut.

Untuk mengatasi permasalahan pembebanan pada transformator dapat dilakukan dengan beberapa metode. Pada penelitian yang telah dilakukan, Peneliti membuat

simulasi sistem yang dapat menggambarkan kondisi jaringan distribusi dimaksud dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 16.0. Diantaranya membuat simulasi *uprating* kapasitas daya transformator mulai dari 160 kVA, 200 kVA dan 250 kVA, simulasi penambahan gardu sisipan dengan kapasitas daya 50 kVA dan simulasi rekonfigurasi jaringan dengan Gardu terdekat, yaitu dalam hal ini Gardu SK63



Gambar 3. Tata letak Gardu SK76 Penyulang Sukasada



Gambar 4. (a) Gardu Portal (b) *Single Line* Gardu Portal

2. Perancangan Simulasi Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP 16.0

ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) adalah merupakan software full grafis yang dapat digunakan sebagai alat (tools) untuk membantu melakukan analisis sistem, mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada.

Pada penelitian ini, perangkat lunak ETAP 16.0 digunakan untuk mensimulasikan kondisi jaringan distribusi Gardu Distribusi SK76 dan juga untuk mengetahui aliran dayanya (Load Flow). Data hasil simulasi akan digunakan sebagai acuan melakukan analisis, dan hasilnya akan dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.

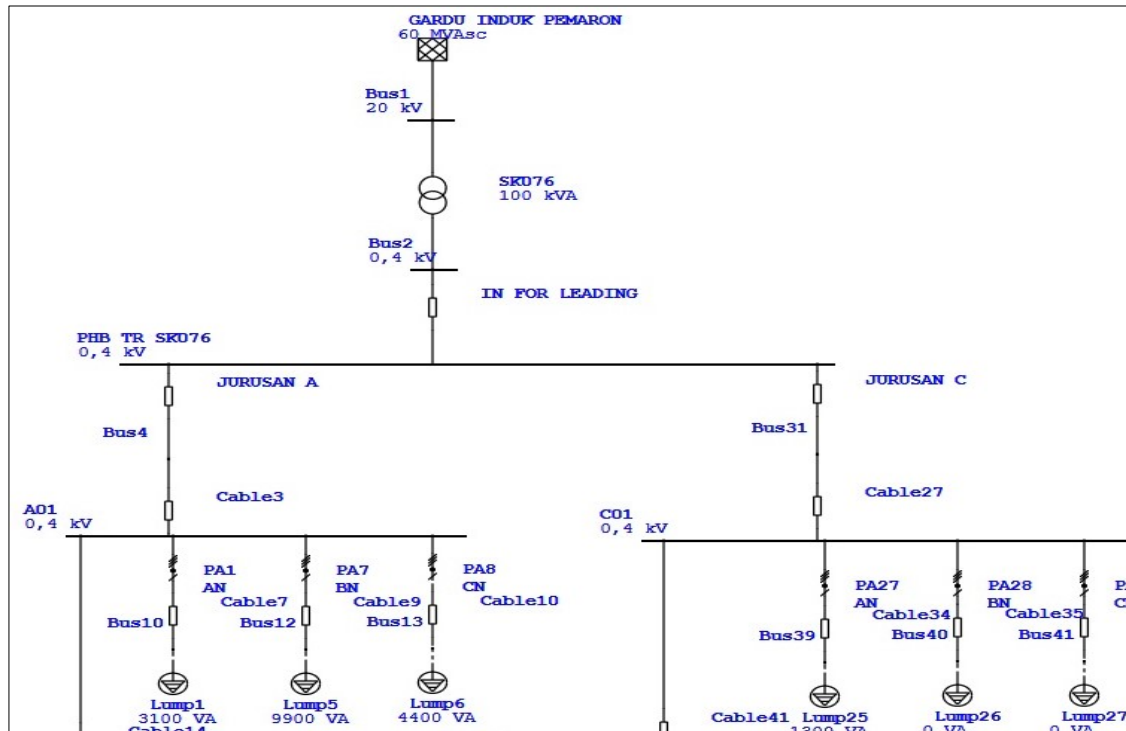
2.1. Simulasi Jaringan Gardu Distribusi SK76

Pada ETAP 16.0 disimulasikan *single line diagram* dari jaringan Gardu Distribusi SK76 secara grafis yang nantinya akan diperoleh aliran dayanya. Selanjutnya akan dilakukan uji coba melalui tiga (3) tahap pengujian. Tahap I, simulasi peningkatan kapasitas (*uprating*) transformator dari 100 kVA menjadi 160 kVA. Tahap II, Pemasangan gardu sisipan dengan kapasitas Transformator baru sebesar 50 kVA. Tahap III simulasi rekonfigurasi jaringan, yakni

sebagian beban dialihkan ke Gardu terdekat dalam hal ini ke Gardu SK63.

Pada Gambar 5 ditampilkan cuplikan gambar simulasi jaringan Gardu Distribusi SK76 menggunakan ETAP 16.0

dalam mode edit. Ditampilkan dari sumber pembangkitan (Gardu Induk “GI Pemaron”), Gardu SK76 yang tersalur melalui dua (2) jurusan (jurusan A dan jurusan C) hingga ke sisi bebannya (pelanggan).



Gambar 5. Cuplikan simulasi jaringan gardu distribusi SK76 menggunakan ETAP 16.0

2.2. Input Data

Jaringan Gardu Distribusi SK76 mendapat suplai dari Trafo II GI Pemaron dengan kapasitas 60 MVA. GI Pemaron digunakan sebagai sumber pembangkitan yang akan diinput datanya pada *Power Grid* ETAP seperti contoh yang ditampilkan pada Gambar 6.

Untuk data-data penunjang lainnya menggunakan data *Library* pada ETAP 16.0. Berikut merupakan contoh *input* data untuk Penghantar Induk (*in for leading*) seperti ditampilkan pada Gambar 8.

Gambar 6. Contoh input data power grid

Data Transformator yang di-input sesuai dengan *name plate* Transformator, sedangkan untuk data lainnya dapat menggunakan fasilitas *Library* pada ETAP 16.0. Adapun data-data yang dimaksud adalah seperti Gambar 7.

Penghantar Induk yang digunakan pada jaringan Gardu Distribusi SK76 adalah jenis NYY dengan luas penampang 150 mm², jumlah kabel yang digunakan adalah 4 (R, S, T, dan N) dengan panjang penghantar masing-masing 10 m.

Gambar 7. Contoh *input* data transformator

Data beban disesuaikan dengan daya pelanggan per fase di masing-masing tiang. Pada menu *Info* khususnya pada

bagian *Demand Factor* (faktor kebutuhan) disesuaikan agar saat *running* hasil simulasinya mendekati kondisi sebenarnya. Pada menu *Name Plate* khususnya pada bagian *Load Type* disesuaikan dengan jenis beban (pelanggan) yang terpasang. Beban yang terpasang sebagian besar adalah beban jenis rumah tangga dan ada beberapa industri rumahan (*home industry*). Beban ini dapat dikategorikan beban statis, sehingga pada *Load Type* diasumsikan 20% beban motor dan 80% beban statis. Berikut merupakan contoh *input* data untuk beban seperti ditampilkan pada Gambar 9.

Gambar 8. Contoh Input Data Cable Editor Penghantar

Gambar 9. Contoh input data beban pada menu name plate

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Observasi Lapangan

Dalam penelitian ini, penulis melakukan observasi ke objek penelitian untuk melakukan pengamatan dan pencatatan data-data yang dibutuhkan. Data yang dicatat mulai dari

data historis pembebanan Gardu SK76, Tahun 2018 dan 2019 seperti ditunjukkan pada Tabel 1 di atas. Data ini dibutuhkan untuk melihat perkembangan pembebanan Transformator Gardu tersebut hingga kondisi terakhir tahun 2020.

Data pengukuran tahun 2020 yang diamati Peneliti sebanyak 14 kali, dari tanggal 27 April – 10 Mei 2020 saat waktu beban puncak (WBP) seperti ditunjukkan pada Tabel 2 di atas. Untuk selanjutnya data tersebut dirata-rata dengan hasil seperti ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data rerata hasil pengukuran

Arus Induk (A)				Tegangan Induk (V)			Cos Φ		
IR	IS	IT	IN	VRN	VSN	VTN	R	S	T
134,0	147,1	148,5	52,9	229,2	233,8	232,1	0,98	0,96	0,97

3.2. Hasil Simulasi ETAP

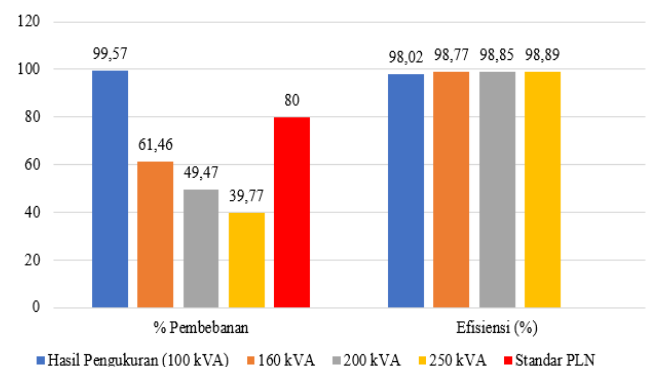
Untuk mengetahui alternatif mana yang terbaik dalam upaya meningkatkan nilai efisiensi Transformator pada Gardu SK76 seperti dimaksud, maka dilakukan uji coba melalui tiga (3) tahap simulasi. Setiap tahap pengujian, dilakukan analisis, selanjutnya ketiga hasil simulasi dibandingkan untuk mengetahui kondisi pembebanan Transformator terhadap peningkatan efisiensinya.

3.2.1. Tahap I, Uprating Kapasitas Transformator

Pada tahap I ini, dilakukan pengujian sebanyak tiga (3) kali dengan merubah kapasitas daya Transformator dari 160 kVA, 200 kVA dan 250 kVA. Data hasil simulasi yang diperoleh digunakan sebagai parameter untuk menghitung nilai pembebanan dan efisiensinya. Adapun nilai pembebanan secara berturut-turut dihitung sebesar 61,46%, 49,47% dan 39,77%. Efisiensi secara berturut-turut sebesar 98,77%, 98,85% dan 98,89%.

Dengan demikian hasil simulasi terhadap kapasitas daya 160 kVA, 200 kVA dan 250 kVA menunjukkan bahwa persentase pembebanan Transformator semakin turun, demikian juga dengan efisiensinya semakin naik dari kondisi kapasitas awal 100 kVA. Dengan demikian apabila dilakukan *uprating* dengan hanya kapasitas 160 kVA saja, permasalahan *overload* (*overblast*) pada Gardu Distribusi SK76 sudah dapat teratasi. Hal ini juga sudah sesuai ketentuan/standar yang digunakan oleh PT. PLN (Persero).

Adapun perbandingan persentase pembebanan dan efisiensi Transformator dari beberapa kapasitas daya adalah seperti terlihat pada Gambar 10.



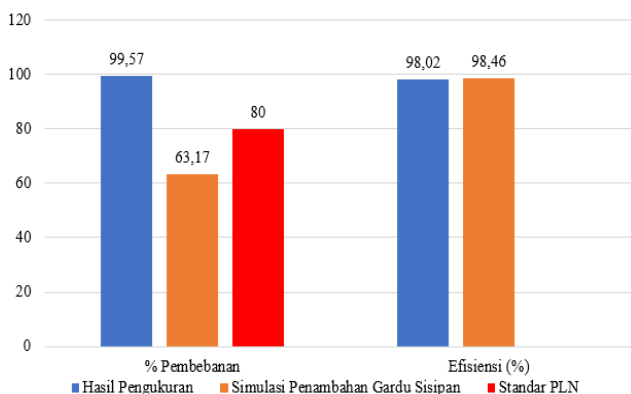
Gambar 10. Grafik perbandingan persentase pembebanan dan efisiensi transformator beberapa kapasitas daya

3.2.2. Tahap II, Pemasangan Gardu Sisipan

Selanjutnya dilakukan simulasi penambahan gardu sisipan dengan kapasitas 50 kVA, persentase pembebanan transformator pada Gardu SK76 mengalami penurunan menjadi sekitar 63,17% atau 36,4% lebih rendah dari persentase pembebanan berdasarkan data hasil pengukuran. Selain itu efisiensi transformator juga meningkat menjadi sekitar 98,46% atau 0,44% lebih tinggi dari efisiensi berdasarkan data hasil pengukuran.

Dengan demikian apabila dilakukan penambahan gardu sisipan dengan kapasitas 50 kVA maka permasalahan *overload (overblast)* pada Gardu Distribusi SK76 sudah dapat teratasi dan sudah sesuai ketentuan/standar yang digunakan oleh PT. PLN (Persero).

Gambar 11 menunjukkan grafik perbandingan persentase pembebanan dan efisiensi simulasi penambahan Gardu sisipan dengan kapasitas daya 50 kVA.



Gambar 11. Grafik perbandingan persentase pembebanan dan efisiensi simulasi penambahan gardu sisipan 50 kVA

3.2.3. Tahap III, Rekonfigurasi Jaringan

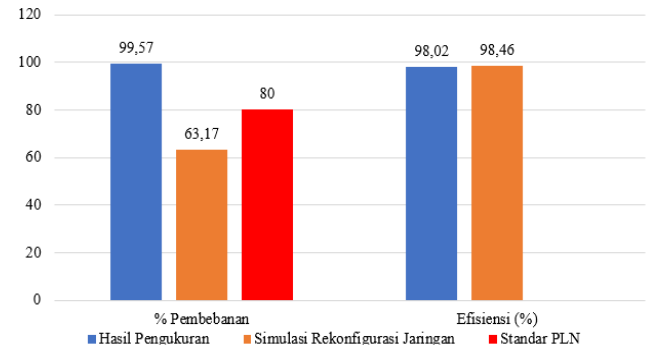
Metode selanjutnya yaitu rekonfigurasi jaringan antara Gardu SK76 dan Gardu SK63. Metode ini dilakukan dengan memindahkan kelebihan beban pada Gardu SK76 yang bermasalah (*overblast*) ke gardu distribusi terdekat yang masih memungkinkan untuk ditambahkan beban. Berdasarkan kondisi di lapangan, maka gardu distribusi yang memungkinkan adalah Gardu SK63 dengan kapasitas 200 kVA. Berdasarkan data riwayat pengukuran terakhir yang pernah dilakukan pada tanggal 29 Oktober 2019, persentase pembebanannya relatif kecil sebesar 15,30% dengan efisiensi 98,20% sehingga masih memungkinkan untuk melayani kelebihan beban dari Gardu Distribusi SK76. Jumlah beban pelanggan terpasang yang akan dipindahkan dari Gardu SK76 ke Gardu SK63 yaitu sekitar 91,3 kVA atau sebesar 33,44%.

Selanjutnya seperti terlihat pada Gambar 12 setelah dilakukan simulasi rekonfigurasi jaringan, persentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi SK76 mengalami penurunan menjadi 63,17% atau 36,4% lebih rendah dari persentase pembebanan berdasarkan data hasil pengukuran. Selain itu efisiensi transformator juga meningkat menjadi 98,46% atau 0,44% lebih tinggi dari efisiensi berdasarkan data hasil pengukuran.

Dengan demikian apabila dilakukan rekonfigurasi jaringan berupa pemindahan sebagian beban ke Gardu Distribusi SK63, maka permasalahan tingginya

pembebanan yang menyebabkan kondisi *overblast* dan rendahnya efisiensi transformator pada Gardu Distribusi SK76 sudah dapat teratasi. Hal ini juga sudah sesuai dengan ketentuan/standar yang digunakan oleh PT. PLN (Persero).

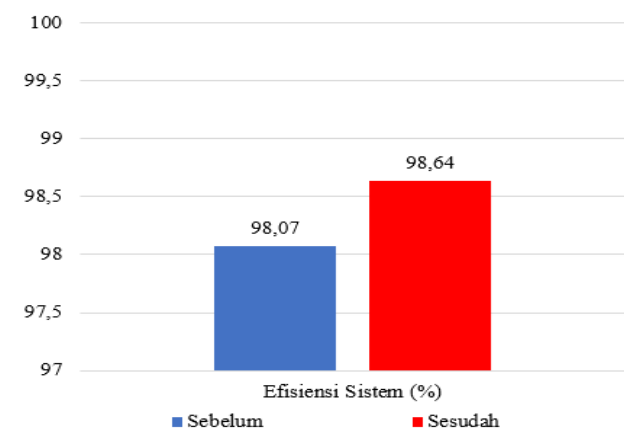
Berikut pada Gambar 12 ditunjukkan grafik perbandingan % pembebanan dan efisiensi Transformator



Gambar 12. Grafik perbandingan % pembebanan dan efisiensi transformator

Pada penelitian ini juga disimulasikan dan dihitung efisiensi sistem (gabungan), yaitu efisiensi gabungan yang terdiri dari Gardu Distribusi SK76 dan Gardu Distribusi SK63. Efisiensi sistem kondisi awal terdiri dari efisiensi transformator Gardu Distribusi SK76 dan Gardu Distribusi SK63 dari data hasil pengukuran. Sedangkan efisiensi sistem setelah rekonfigurasi jaringan terdiri dari efisiensi transformator pada Gardu Distribusi SK76 dan Gardu Distribusi SK63. Berdasarkan hasil simulasi rekonfigurasi jaringan menggunakan ETAP 16.0 diperoleh efisiensi sistem meningkat dari sebelumnya 98,07% menjadi 98,64%.

Gambar 13 menunjukan grafik perbandingan efisiensi sistem sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi jaringan.



Gambar 13. Grafik perbandingan efisiensi sistem (gabungan) sebelum dan setelah Rekonfigurasi Jaringan

4. Kesimpulan

Persentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi SK76 dari hasil simulasi *uprating* kapasitas daya transformator 160 kVA yakni sebesar 61,46%, menurun sekitar 38,11% dari kondisi awal. Efisiensinya sebesar 98,77 %, meningkat 0,75% dari kondisi awal. Begitu juga

analisisnya dengan kapasitas Transformator 200 kVA dan 250 kVA yang telah diuji, secara umum menunjukkan persentase pebebanan menurun dan efisiensi meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan *overblast* Transformator sudah teratasi, hal ini sudah juga sesuai dengan ketentuan/regulasi yang digunakan oleh PT PLN (Persero).

Persentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi SK76 berdasarkan data hasil simulasi penambahan gardu sisipan dengan kapasitas 50 kVA yakni sebesar 63,17%, menurun sekitar 36,4% dari kondisi awal. Efisiensinya sebesar 98,46%, meningkat sekitar 0,44% dari kondisi awal. Sedangkan persentase pembebanan transformator pada gardu sisipan yaitu Gardu Distribusi SKXX sebesar 76,95% dengan efisiensi sebesar 98,19%. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan *overblast* Transformator sudah teratasi Hal ini tentunya juga sudah sesuai dengan ketentuan/regulasi yang digunakan oleh PT PLN (Persero).

Persentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi SK76 berdasarkan data hasil simulasi rekonfigurasi jaringan dengan pemindahan sebagian beban ke Gardu Distribusi SK63 sebesar 63,17%, terjadi penurunan sekitar 36,4% dari kondisi awal. Efisiensinya sebesar 98,46%, meningkat sekitar 0,44% dari kondisi awal. Sedangkan persentase pembebanan transformator pada Gardu SK63 sebesar 34,29%, meningkat sekitar 18,99% dari kondisi awal. Efisiensinya sebesar 98,82%, meningkat 0,62% dari kondisi awal. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan *overblast* Transformator sudah teratasi. Hal ini tentunya juga sudah sesuai dengan ketentuan/regulasi yang digunakan oleh PT PLN (Persero).

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) atas dukungan data dan informasinya, semoga artikel ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melaksanakan manajemen beban khususnya pada Gardu SK76 Penyulang Sukasada

Secara umum, semoga artikel ini dapat menginspirasi dan dikembangkan kembali oleh para peneliti lainnya. Harapannya, dari ide yang sederhana berkembang menjadi

lebih luas sehingga bermanfaat untuk kemajuan teknologi ke depan.

Daftar Pustaka

- [1] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Capaian kinerja 2019 dan program 2020", Jakarta, 2020
- [2] I.K. Ta, dkk, "Analisa persentase pembebanan dan drop tegangan jaringan tegangan rendah pada gardu distribusi GA 0032 penyulang Wibrata", Matrix, 7, 2017, pp. 42-46.
- [3] B.L. Theraja and A.K. Theraja, "A Textbook of electrical technology" Vol. II, New Delhi, S. Chand and Company Ltd., 2001.
- [4] Zuhail, "Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika Daya", Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [5] R.E. Sinaga and P.S.M.L. Tobing, "Studi tentang pengukuran parameter Trafo Distribusi dengan menggunakan EMT (Electrical Measurment & Data Transmit)", SINGUDA ENSIKOM, 8, 2014, pp. 128-133.
- [6] PT. PLN (Persero), SPLN 50: 1997, "Spesifikasi transformator distribusi", Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 1997
- [7] Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014, "Metode Pemeliharaan Tranfo Slatribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, PT. PLN (Persero)", 2014.
- [8] I.P. Sutawinaya, I.W. Teresna, Febry, P. Setya Cahyana, "Studi analisis penambahan transformator sisipan untuk menopang beban lebih dan drop tegangan pada transformator distribusi KA 1516 penyulang buduk menggunakan simulasi program ETAP 7.0", LOGIC, Nop. 2014, vol. 14, pp. 133-139.
- [9] I.M.A. Wiryawan, I.P. Sutawinaya, I.W.R. Sutrawan, "Analisis perbandingan antara penggunaa transformator sisipan dan uprating tranformator dalam menanggulangi drop tegangan pada Gardu Distribusi KA0819 penyulang Mumbul", LOGIC, 15, 2015, pp. 159-163.
- [10] A.A.N.M. Narottama, dkk, "Analisis pengaruh rekonfigurasi jaringan terhadap pembebanan transformator pada Gardu Distribusi KA 1316 Penyulang Sriwijaya", MATRIX, 4, 2014, pp. 125-130.



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

Perancangan mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis

I Wayan Suma Wibawa^{1*}, I Komang Kantun¹, I Ketut Suherman¹, Risa Nurin Baiti¹
dan I Wayan Suirya¹

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

*Email: sumawibawa@pnb.ac.id

Abstrak

Plasma cutting merupakan salah satu cara pemotongan logam khususnya baja dengan efektifitas dan biaya yang relative rendah, dengan hasil yang cukup memuaskan. Dimana dalam pemotongan tersebut cukup dibutuhkan mesin plasma cutting/inverter yang harganya cukup terjangkau, banyak beredar di pasaran, dan alat yang simple, kompresor angin (tidak perlu oksigen/gas khusus seperti pada pemotongan gas/ oxygen dan asetilin/LPG), sumber listrik, bahan yang dipotong dan proses pemotonganpun dapat dilaksanakan. Cara penggunaan plasma cutting relative mudah, yaitu dengan seting mesin kemudian mengarahkan torch plasma ke bidang potong sesuai keperluan dengan menjaga ke stabilan Gerakan dan ketinggiannya. Namun di saat kita akan melakukan sebuah pemotongan yang berulang, maka secara otomatis konsentrasi dan daya fisik kita akan menurun, sehingga memerlukan alat bantu yang dapat membantu kita dalam mengarahkan/mengatur torch plasma yang mana alat tersebut dinamakan mekanis *plasma cutting*. Setelah memperhatikan kebutuhan tersebut maka dirancanglah sebuah mekanisme plasma cutting dengan ruang kerja/Panjang pemotongan 1300 mm, dengan ukuran alat Panjang, lebar dan tinggi 1950 mm x 300mm x 100 mm, perkiraan biaya Rp. 3.050.000, dengan setelan kecepatan potong 100 mm/menit sampai 1000 mm/menit, ketinggian potong 0 sampai 10 mm dengan sudut 0° sampai 90°.

Kata kunci: perancangan, *plasma cutting*, mekanisme

Abstract: *Plasma cutting is a method of cutting metal, especially steel, with relatively low cost and effectiveness, with satisfactory results. Where in the cut, it is enough to need a plasma cutting machine/inverter that is quite affordable, widely available in the market, and simple tools, an air compressor (no special oxygen/gas needed as in gas/oxygen and acetylene/LPG cutting), a power source, the material being cut and the cutting process can be carried out. How to use plasma cutting is relatively easy, namely by setting the machine and then directing the plasma torch to the cutting plane as needed by maintaining a stable movement and height. However, when we make repeated cuts, our concentration and physical strength will automatically decrease, so we need a tool that can help us direct/adjust the plasma torch, which is called a plasma cutting mechanism. After paying attention to these needs, a plasma cutting mechanism was designed with a working space/cutting length of 1200 mm, with a tool size of 1400 mm x 300mm x 200 mm length, width and height, estimated cost of Rp. 3,050,000, with a cutting speed setting of 100 mm/minute to 1000 mm/minute, a cutting height of 0 to 10 mm with an angle of 0 degree to 90 degree.*

Keywords: design, *plasma cutting*, mechanism

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Dalam bidang produksi dan fabrikasi proses pemotongan merupakan salah satu proses utama, dimana setelah perancangan suatu produk maka tahapan selanjutnya ialah merealisasikan rancangan. Dalam merealisasikan rancangan terdiri dari beberapa proses, salah satunya proses pemotongan bahan baik dalam bentuk plat maupun pipa. Saat ini terdapat berbagai jenis proses pemotongan mulai dari manual dengan *bandsaw*, gerinda, oksiasetilin, *plasma cutting*, *wirecutting*, *laser cutting*, dan *water cutting*.

Di antara pemotongan tersebut saat ini yang dirasa paling efektif, sederhana, biaya cukup rendah dan mudah

dalam penggunaan ialah *plasma cutting*. Proses ini menggunakan busur listrik terkonsentrasi yang melelehkan material melalui sinar plasma suhu tinggi. Semua bahan konduktif dapat dipotong. Unit pemotong plasma dengan arus pemotongan dari 20 hingga 1000 ampere untuk memotong pelat dengan gas inert, dengan ketebalan 5 hingga 160 mm. Gas plasma adalah udara bertekanan, nitrogen, oksigen atau argon/hidrogen untuk memotong baja paduan ringan dan tinggi, aluminium, tembaga, dan logam serta paduan lainnya [1]. Karakteristik kualitas yang dinilai meliputi kekasaran permukaan, zona pengaruh panas dan konsitas geometri potongan. Menggunakan desain

eksperimen dan analisis varians, ditemukan bahwa kekasaran permukaan dan konisitas terutama dipengaruhi oleh tinggi pemotongan, sedangkan zona yang terkena panas terutama dipengaruhi oleh arus pemotongan [2].

Parameter PAC yang dipelajari adalah bagaimana pengaturan untuk parameter seperti Tekanan Gas, Aliran Arus, Kecepatan Potong dan Celah Busur mesin [3]. Proses plasma cocok untuk bahan penghantar listrik dengan ketebalan dari 1 hingga 600 mm. Proses pemotongan plasma dapat digunakan untuk memotong bahan konduktif apa pun, termasuk baja karbon, baja tahan karat, aluminium, tembaga, kuningan, logam tuang, dan paduan eksotis. Karakteristik kualitas yang dinilai meliputi kekasaran permukaan, zona pengaruh panas dan konisitas geometri potongan. Menggunakan desain eksperimen dan analisis varians, ditemukan bahwa kekasaran permukaan dan konisitas terutama dipengaruhi oleh tinggi pemotongan, sedangkan zona yang terkena panas terutama dipengaruhi oleh arus pemotongan [4]. Pemotongan plasma, baik konvensional atau presisi, adalah cara yang cepat dan ekonomis untuk memproduksi suku cadang. Produsen pertama-tama harus memahami prosesnya, dan kemudian menentukan apakah proses ini atau proses lain menghasilkan suku cadang dengan lebih efektif. Istilah untuk keadaan busur plasma yang diijinkan disebut juga stabilitas busur. Stabilitas busur menjaga jet plasma dalam bentuk yang diinginkan. Hal ini dimungkinkan untuk disediakan oleh: bentuk obor plasma; aliran jet; air. Kita harus memantau parameter ini: suhu dan konduksi listrik; kepadatan jet plasma; diameter sinar plasma; derajat fokus sinar plasma yang keluar dari *nozzle* [5]. Plasma adalah gas konduktif listrik yang sangat panas, yang terdiri dari ion positif dan negatif, elektron serta atom dan molekul yang tereksitasi dan netral. Di fisika mereka sering berbicara tentang keadaan agregasi ke-4 [6]. Untuk proses pemotongan pertama-tama terjadi pengapian busur pilot dengan tegangan tinggi antara nosel dan katoda. Busur pilot berenergi rendah ini disiapkan dengan ionisasi di sebagian jalan antara obor plasma dan benda kerja. Ketika busur pilot menyentuh benda kerja (pemotongan terbang, penusuk terbang), busur utama akan dimulai dengan peningkatan daya secara otomatis [7].

Proses PAC menggunakan pancaran gas terionisasi suhu tinggi, terbatas, dan berkecepatan tinggi yang keluar dari lubang penyempitan ujung obor untuk melelehkan area yang sangat terlokalisasi dan menghilangkan bahan cair dari logam yang dipotong oleh kekuatan pancaran plasma. Gaya busur mendorong logam cair melalui benda kerja dan memutuskan material. Pemotongan yang sangat bersih dan akurat dimungkinkan dengan PAC. Karena energi panas yang terfokus dengan ketat, ada sedikit lengkungan, bahkan saat memotong ketebalan lembaran logam pengukur tipis. PAC juga menawarkan kemampuan mencongkel dan menusuk yang berkualitas.

"Penyangga obor" adalah jarak permukaan luar ujung obor atau nosel lubang yang menyempit ke permukaan logam dasar. Jarak *standoff* ini akan ditentukan oleh ketebalan material yang dipotong dan arus listrik yang dibutuhkan. Pembentukan panas rendah saat memotong dengan kurang dari 40 ampere memungkinkan menyeret ujung obor pada material. Jika peningkatan panas yang tinggi diharapkan, jarak kebuntuan 1/16" hingga 1/8" akan diperlukan. Hal ini mudah dilakukan dengan obor *ICE*

Miller dengan "*Drag Shield*". "*Drag Shield*" bekerja dengan dinamika aliran obor untuk memberikan pendinginan yang lebih baik pada suku cadang yang dapat dikonsumsi untuk masa pakai suku cadang yang lebih lama. Hal ini memungkinkan operator untuk menyeret obor pada benda kerja sambil memotong pada *output* penuh, yang meningkatkan kenyamanan operator dan membuat pemotongan template lebih mudah. Perawatan nozzle adalah pemeriksaan kondisi fisik, pembersihan dan pengujian yang tepat. Pengujian ini dilakukan dengan suhu Plasma dapat mencapai 33.000°C, kira-kira 10 kali lipat suhu yang dihasilkan oleh reaksi oksigen dan asetilen [8]. Semakin rendah jarak torch yang digunakan maka semakin kecil nilai lebar garitan dan kekasaran permukaan yang dihasilkan [9]. Kecepatan potong yang baik untuk pemotongan plasma dengan tipe mesin tertentu (40 A) ialah *travel speed* 500 mm/min, ampere 75 dan jarak *torch*-bahan 3 mm pada bahan ST 42 tebal 8 mm' [10].

Plasma cutting merupakan salah satu cara pemotongan logam khususnya baja dengan efektifitas dan biaya yang relative rendah, dengan hasil yang cukup memuaskan. Dimana dalam pemotongan tersebut cukup dibutuhkan mesin *plasma cutting/inverter* yang harganya cukup terjangkau, banyak beredar di pasaran, dan alat yang simple, kompresor angin (tidak perlu oksigen/gas khusus seperti pada pemotongan gas/ oxygen dan asetilen/LPG), sumber listrik, bahan yang dipotong dan proses pemotonganpun dapat dilaksanakan. Cara penggunaan plasma cutting relative mudah, yaitu dengan seting mesin kemudian mengarahkan torch plasma ke bidang potong sesuai keperluan dengan menjaga ke stabilan Gerakan dan ketinggiannya. Namun di saat kita akan melakukan sebuah pemotongan yang berulang, maka secara otomatis konsentrasi dan daya fisik kita akan menurun, sehingga memerlukan alat bantu yang dapat membantu kita dalam mengarahkan/mengatur *torch plasma* yang mana alat tersebut dinamakan mekanisme plasma cutting.

Berdasarkan latar belakang tersebut, Penulis merancang sebuah alat mekanisme rel torch plasma cutting 1 axis yang di gerakkan oleh motor listrik, yang mana kecepatan pergerakan rel dan ketinggian torch dengan bahan potong dapat diatur.

Tujuan dari perancangan alat mekanis ialah : (1) dengan berhasilnya perancangan alat ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga bagi masyarakat dan industri kreatif, dimana nantinya rancangan mekanisme rel torch plasma cutting 1 axis ini dapat digunakan sebagai acuan dalam desain pembuatan alat; (2) dengan rancangan ini dapat memberikan gambaran bahan, alat dan biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan alat.

2. Metode dan Bahan

Perancangan merupakan suatu proses yang terdiri dari beberapa tahapan, dan tahapan tersebut membutuhkan proses dalam jangka waktu yang tidak singkat. Menurut Booker perancangan merupakan proses simulasi dari apa yang ingin dibuat sebelum kita membuatnya, berkali-kali sehingga memungkinkan kita merasa puas dengan hasil akhirnya [11].

Selain itu perancangan bertujuan untuk menciptakan hasil (obyek) yang lebih baik dari sebelumnya. Perancangan merupakan aktivitas kreatif, melibatkan proses untuk membawa kepada sesuatu yang baru dan bermanfaat

yang sebelumnya tidak ada [12], dan perancangan adalah usulan pokok yang mengubah sesuatu yang sudah ada menjadi sesuatu yang lebih baik, melalui tiga proses: mengidentifikasi masalah-masalah, mengidentifikasi metoda untuk pemecahan masalah, dan pelaksanaan pemecahan masalah. Dengan kata lain adalah pemograman, penyusunan rancangan, dan pelaksanaan rancangan [13].

Rancang bangun merupakan pembuatan model suatu alat (*prototype*) atau suatu kreasi atas sesuatu yang mempunyai kenyataan fisik. Pembuatan suatu alat memerlukan perencanaan komponen yang akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan mekanisme alat yang dibuat. Kekuatan merupakan pertimbangan dalam membangun suatu alat, dimana kekuatan tergantung dari pemilihan, perlakuan dan pengerjaan yang dilakukan terhadap bahan tersebut [8] yang akan dilakukan merupakan penelitian terapan (*applied research*), yang didasari dengan adanya suatu masalah. Adapun langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur diperlukan untuk mendapatkan informasi yang digunakan sebagai landasan atau kerangka berpikir bagi penelitian yang akan dilakukan. Teori-teori dan hasil penelitian akan dimanfaatkan sebagai pijakan untuk mengembangkan penelitian.
2. Pengumpulan data
Data-data yang akan dikumpulkan dalam penelitian ini adalah berupa data kebutuhan alat dan spesifikasi yang diperlukan.
3. Pengolahan Data, meliputi beberapa hal sebagai berikut:
 - a. Ukuran dan dimensi alat yang dibutuhkan
 - b. Penterjemahan/visualisasi kebutuhan ke dalam sebuah desain/gambar alat
 - c. Penyesuaian fungsi dan kinerja alat
 - d. Penjabaran komponen alat
4. Analisis dan pembahasan, meliputi beberapa hal di

antaranya:

- a. Spesifikasi kerja alat
- b. Spesifikasi komponen
- c. Rencana anggaran biaya

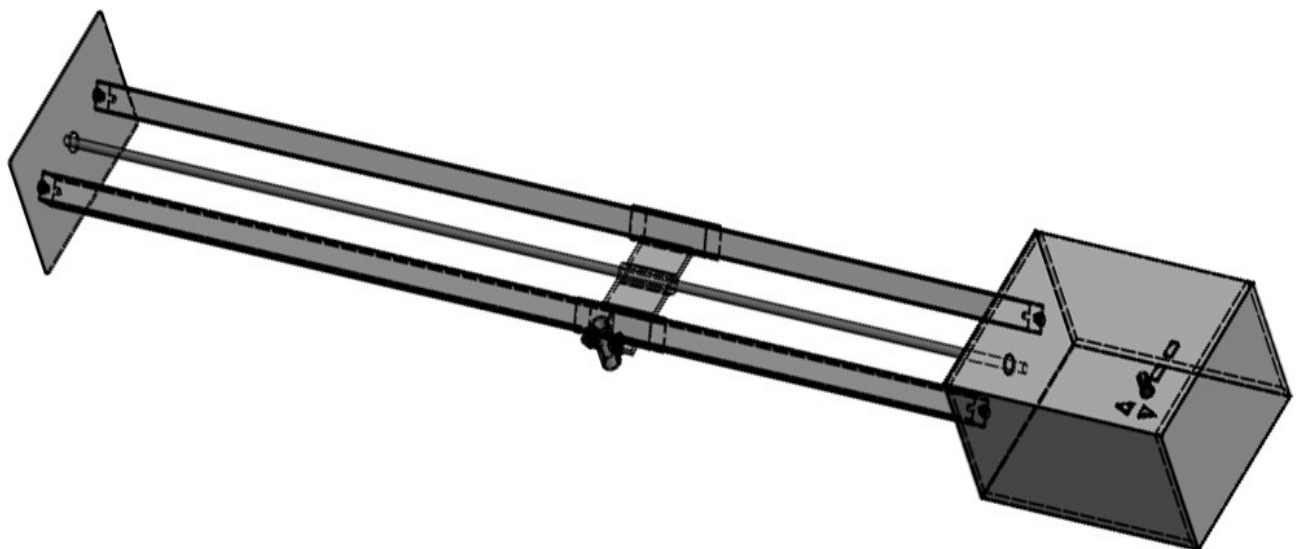
Bahan dalam penelitian ini ialah :

1. Data kebutuhan
2. Pc/seperangkat computer yang telah terinstal software Autodesk Inventor, yang akan digunakan untuk menggambar alat' dimana dalam hal ini penulis menggunakan Autodesk Inventor 2020 dengan lisensi student version
 - *Product* :Inventor Professional 2020
 - *License Type* : Education Multi-seat Stand-alone
 - *Product Key* :7XXXX
 - *Serial Number* :5XXXXXXXXXXXXX
 - *Licensee* :Politeknik Negeri Bali

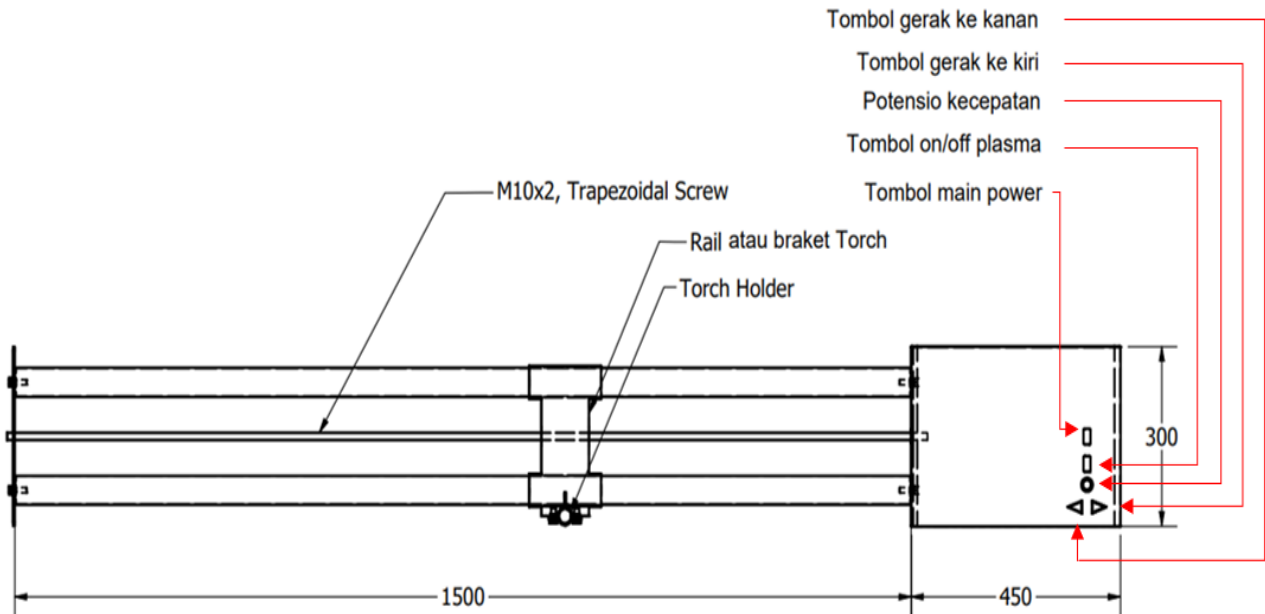
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengamatan di beberapa bengkel produksi dan fabrikasi ditemukan bahwa rata-rata kebutuhan/jangkauan pemotongan plat ialah 1300 mm, ketebalan berkisar 3 mm sampai 10 mm dan diharapkan nantinya alat yang dirancang bisa digunakan secara portable/ dipindah-pindah.

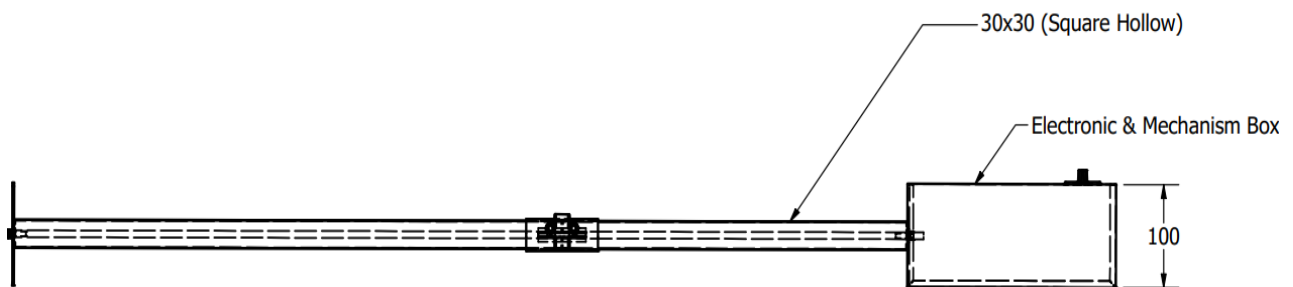
Perancangan mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis dilakukan secara bertahap, mulai dari Analisa kebutuhan (fungsi dan cara penggunaan), ketersediaan bahan dan desain yang sesuai berdasarkan cara kerja dan mekanisme. Perancangan dimulai dari penggambaran sket di atas kertas kemudian di terjemahkan dan di sempurnakan dengan sebuah *software* yaitu *Autodesk Inventor 2020* dengan lisensi student version. Dalam penggambaran/ desain adapun beberapa hal yang difokuskan, yaitu mekanisme rel, braket *torch plasma cutting*, rangka mekanisme, posisi sistem control' rancangan alat terlihat seperti Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Rancangan mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis



Gambar 2. Komponen tampak atas



Gambar 3. Komponen tampak depan

Deskripsi selengkapny mekanisme rel torch plasma cutting 1 (satu) axis:

1. Mekanisme rel yang digunakan ialah bertipe sliding, dimana menggunakan as/alur sliding yang terdiri dari 2 buah dan bantalan sliding yang dihubungkan dengan braket/dudukan *torch plasma cutting* seperti terlihat pada gambar 1. Rel terdiri dari 2 buah besi hollow ukuran 30 mm x 30 mm yang disusun sejajar dan dirangkai pada body yang terbuat dari besi plat setebal 10 mm, di tengah besi terdapat as ulir yang digunakan sebagai media penerus/penggerak braket *torch* yang ditenagai motor listrik seperti gambar 2 dan 3. Rel tersebut hanya dibuat 1 (satu) axis dan braket dapat bergerak bolak-balik.
2. Gerakan braket tersebut ditenagai oleh motor DC 12 volt, yang dihubungkan dengan ulir untuk menggerakkan braket. Sumber tenaga motor dapat dihasilkan dari energi listrik PLN yang dikonversi ke 12 volt oleh sebuah inverter.
3. Kecepatan pergerakan motor diatur oleh sebuah potensio 12 volt, sehingga pergerakan braket dapat

diatur sesuai kebutuhan.

4. Gerakan ke kanan/ke kiri motor diatur oleh sebuah rangkain relay DC 12 volt beserta 2 (dua) buah tombol.
5. 1 (satu) buah saklar utama disiapkan sebagai pengatur main power.
6. 1 (satu) buah saklar dibuat sebagai on/off plasma cutting, yang dihubungkan dengan rangkaian mesin plasma dan diatur sebagai jack dan receivernya pada mesin plasma.
7. Pada braket, posisi torch plasma cutting dapat diatur ketinggiannya dan juga sudutnya sesuai kebutuhan sehingga selain dapat digunakan memotong lurus mekanisme ini juga dapat digunakan untuk memotong sudut.

Dari aspek ekonomi, biaya dalam pembuatan sebuah mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis dapat mencapai sekitar 3 juta rupiah. Pembiayaan baru mencakup biaya bahan, sedangkan biaya desain dan pembuatan belum dimasukkan. Dan komponen biaya yang dimaksud sangat dinamis dan dapat berubah sewaktu-waktu.

4. Kesimpulan

Dari uraian, gambar desain dan pemilihan komponen-komponen alat mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Dimensi alat mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis yaitu dengan ruang kerja/Panjang pemotongan 1300 mm, dengan ukuran alat Panjang, lebar dan tinggi 1950 mm x 300mm x 100 mm. Mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis dapat diinstal pada torch beberapa merk mesin plasma cutting, dengan berbagai variasi kecepatan braket yang bisa diatur dari kecepatan potong 100 mm/menit sampai 1000 mm/menit, ketinggian potong yang dapat di atur 0 mm sampai 10 mm, dengan pengaturan sudut potong 0° sampai 90° dan alat mekanisme ini juga dapat digunakan portable/dapat dipindah-pindah sesuai lokasi kerja yang diperlukan. Jumlah biaya yang dibutuhkan untuk membuat sebuah mekanisme rel *torch plasma cutting* 1 (satu) axis ialah Rp 3.050.000,- (namun perlu diingat biaya itu kemungkinan akan berubah menyesuaikan harga di lokasi pembelian).

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan atau dukungan dari rekan-rekan yang telah membantu penyelesaian tugas tertentu.

Daftar Pustaka

- [1] A. Diki dkk, "Identifikasi Hasil Pemotongan *Plasma Cutting* Dengan Variasi *Travel Speed*", Jurnal Politeknik Negeri Batam, 2021.
- [2] K. Salonitis and S. Vatousianos, "*Experimental investigation of the plasma arc cutting process*", *Manufacturing and Materials Department*, Cranfield University, 2012.
- [3] V. Singh, "*Analysis of process parameters of Plasma arc cutting using design of experiment*", *Thesis National Institute of Technology*, 2011.
- [4] A. Bahram, "*Optimising the automated plasma cutting process by design of experiments*", *Int. J. Rapid Manufacturing*, 1, No. 1, 2009.
- [5] C. Sommer, "*Non-traditional machining handbook*", *Advance publishing*, Houston, 2000, 432 p
- [6] I. Maňková, "*Progressive Technologies*. Viena Košice, 2000, pp. 225-240 .
- [7] J. Zajac, M. Miškovičová, V. Miškovič, "*Cutting facilities of new type of came cutting material*", In: *Proceedings of the conference PPTO*, Košice, 1995, pp. 138-139.
- [8] A.A. Antoni, "Pemesinan nonkonvensional *plasma arc cutting*. Palembang : Jurnal Rekayasa Mesin. Vol. 9, 2009, 51–55.
- [9] F.N. Saputro dan W. Sumbodo, "Pengaruh ketinggian *torch* terhadap lebar *kerf* dan kekasaran permukaan pada pemotongan *cnc plasma arc cutting* dengan bahan baja ST 37. Semarang : Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 11, No.2, 2019.
- [10] I.W.S. Wibawa, dan I.K. Suherman, "*Experimental study of the effect of plasma cutting on the tensile strength of materials 'fe'*". Badung,, *Logic*, 21, No 3, 2021.
- [11] P.J. Booker, "*Principles and Precedents Engineering Design*", London, *Institution of Engineering Designers*, 1962.
- [12] J.B. Reswick, "*Prospectus for an Engineering Design Center*, Cleveland OH, *Case Institute of Technology*, 1965
- [13] J.W. Wade, "*Architecture, problems, and purposes: Architectural design as a basic problem-solving process*", Wisconsin, London, *John Wiley & sons pub*, 1977..



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

Analisis modifikasi sistem kopling otomatis ke sistem kopling manual terhadap akselerasi sepeda motor Supra-X tahun 2014

I Nyoman Sutarna^{1*}, I Nengah Ludra Antara¹, I Ketut Suherman¹ dan I Ketut Adi¹

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

*Email: sutarnanyoman@yahoo.co.id

Abstrak

Akselerasi adalah percepatan atau perubahan kecepatan dalam unit waktu tertentu. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimental. Tujuan dari analisis modifikasi sistem kopling otomatis ke sistem kopling manual terhadap akselerasi sepeda motor adalah untuk mengetahui hasil modifikasi sistem kopling otomatis ke sistem kopling manual terhadap akselerasi. Hasil pengujian pertama diperoleh rata-rata percepatan pada sistem kopling otomatis sebesar 101,05 m/detik², dan kedua rata-rata percepatan sebesar 101,14 m/detik², jadi rata-rata percepatan sebesar 101,095 m/detik². Saat menggunakan sistem kopling manual, hasil pengujian pertama diperoleh rata-rata percepatan sebesar 77,87 m/detik², kedua diperoleh rata-rata percepatan sebesar 78,51, jadi rata-rata percepatan sebesar 78,19 m/detik². Jadi hasil rata-rata percepatan menggunakan sistem kopling otomatis sebesar 101,095 m/detik², sedangkan yang menggunakan sistem kopling manual sebesar 78,19 m/detik². Terjadi perbedaan yang sangat signifikan sebesar 101,095 m/detik² - 78,19 m/detik² = 22,905 atau 22,65 %. Ini berarti penggunaan sistem kopling manual akselerasi lebih cepat dari pada sistem kopling otomatis.

Kata kunci: Akselerasi, kopling, otomatis dan manual

Abstract: Acceleration is the change in speed in a certain unit of time. The method applied in this research is the experimental method. The purpose of the analysis of the modification of the automatic clutch system to the manual clutch system on motorcycle acceleration is to determine the results of the modification of the automatic clutch system to the manual clutch system on acceleration. The results of the first test showed that the average acceleration in the automatic clutch system was 101.05 m/s², and the second an average acceleration was 101.14 m/s², so the average acceleration was 101.095 m/s². When using the manual clutch system, the first test results obtained an average acceleration of 77.87 m/s², the second obtained an average acceleration of 78.51, so the average acceleration was 78.19 m/s². So the average acceleration using the automatic clutch system is 101.095 m/s², while those using the manual clutch system are 78.19 m/s². There was a very significant difference of 101.095 m/s² - 78.19 m/s² = 22,905 or 22.65%. This means the use of the manual clutch system accelerates faster than the automatic clutch system.

Keywords: Acceleration, clutch, automatic and manual

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Peranan ilmu pengetahuan dan juga teknologi dewasa ini sangatlah penting dalam kehidupan manusia di dunia pada umumnya. Setiap saat ilmu pengetahuan dan begitu juga teknologi tersebut akan mengalami perkembangan, dimana hal ini dipakai sebagai tolak ukur kemajuan suatu bangsa sehingga nantinya diharapkan dapat mengembangkan dan menemukan suatu teknologi baru.

Perkembangan teknologi khususnya dalam bidang transportasi mengalami peningkatan yang sangat pesat dari tahun ketahun, hal ini dapat dilihat dari beraneka ragam jenis kendaraan yang berada dipasaran di Indonesia khususnya sepeda motor. Tujuan diciptakannya kendaraan bermotor tidak lain dari keinginan untuk memenuhi semua kebutuhan manusia, sehingga mempermudah didalam

melakukan kegiatan dan aktifitas yang menempuh jarak yang jauh. Dipasaran sudah banyak dikeluarkan produk dengan berbagai tipe yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing sepeda motor.

Pada sepeda motor sistem kopling dapat dibagi dua yaitu: (1) sistem kopling manual, (2) sistem kopling otomatis. Sistem kopling manual akan bekerja apabila tuas (*handle*) kopling ditarik. Sistem kopling manual banyak diterapkan pada sepeda motor tipe *sport*. Sistem kopling otomatis bekerja dengan prinsip gaya sentrifugal yang memutuskan dan menghubungkan tenaga mesin tergantung dari putaran mesin. Sistem kopling otomatis banyak diterapkan pada sepeda motor tipe *metec*.

Pada sepeda motor yang menggunakan kopling otomatis, pengoperasian diatur oleh putaran mesin, dimana

pembebasan terjadi secara otomatis apabila putaran mesin rendah. Kopling otomatis apabila pada saat tuas perseneling ditekan, (posisi gigi masuk) motor digas tarikannya tidak seponatan, dan sering terjadi selip, karena kanvas kopling belum berhubungan dengan pelat kopling sehingga diperlukan putaran mesin yang lebih tinggi. Pada kopling manual pembebasan kopling dilakukan oleh pengendara itu sendiri [2].

Hasil studi penduluan pada pengendara sepeda motor yang menggunakan sistem kopling otomatis, pada saat tuas perseneling ditekan (posisi gigi masuk) dan putaran mesin ditingkatkan (di gas) tarikannya tidak seponatan atau akselerasinya tidak baik, dan sering terjadi slip pada saat memindahkan gigi transmisi, dan dapat mengakibatkan kanvas kopling menjadi habis/aus. Berdasarkan permasalahan ini dicari solusi dengan melakukan modifikasi pada sistem kopling otomatis menjadi sistem kopling manual, dengan harapan agar akselerasi dapat bekerja dengan baik.

Akselerasi sepeda motor adalah percepatan atau perubahan kecepatan dalam unit waktu tertentu. Pada hukum fisika diberi simbol (a), kenyataannya perubahan kecepatan inilah yang disebut dengan percepatan [3].

Kaitan sistem kopling dengan akselerasi sangatlah penting karena apabila kopling yang digunakan sudah aus atau ketidak seponatan dari kopling tersebut maka akselerasi dari kendaraan tersebut kurang baik. Khususnya anak muda sering melakukan memodifikasi sistem kopling otomatis menjadi sistem kopling manual, karena menginginkan unjuk kerja lebih dari sebelum modifikasi sistem kopling tersebut.

Modifikasi sistem kopling otomatis menjadi sistem kopling manual, apakah mempunyai pengaruh terhadap akselerasi pada sepeda motor, maka perlu dilakukan pengujian. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap akselerasi. Pengujian dilakukan oleh dua orang pengendara, setiap pengendara melakukan lima kali pengujian pada sistem kopling otomatis dan sistem kopling manual, agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2. Metode dan Bahan

2.1. Metode

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini metode eksperimen adalah melakukan percobaan secara langsung terhadap objek, dimana peneliti ingin mengetahui pengaruh sebab akibat berbagai variabel independen dan dependen. Jadi metode eksperimen merupakan metode penelitian kuantitatif diterapkan untuk mengidentifikasi pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dalam keadaan atau kondisi yang terkendali [1].

Dalam metode eksperimen untuk memodifikasi sistem kopling otomatis menjadi kopling sistem manual pada sepeda motor dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut: mengetahui sistem kopling otomatis yang standar dari pabrik pada sepeda motor yang akan dimodifikasi, melakukan modifikasi sistem kopling otomatis menjadi sistem kopling manual, melakukan uji coba untuk mengetahui apakah sistem kopling manual dapat bekerja dengan baik, melakukan pengujian yang dilakukan oleh dua orang pengendara masing-masing dilakukan lima kali penggunaan sistem kopling otomatis dan sistem kopling manual dengan jarak tempuh 300 m (meter) jalan merata, hasil pengujian yang diperoleh ditabelkan. Kemudian dianalisis dengan melakukan perbandingan antara hasil rata-

rata percepatan pengujian sistem kopling otomatis dengan hasil rata-rata percepatan pengujian sistem kopling manual.

2.2. Deskripsi Sistem Kopling

Sepeda Motor yang dievaluasi dalam peper ini adalah sepeda motor supra x, dimana spesifikasinya, mesin 4 stroke, 1 selinder, kapasitas mesin 125 cc, pendinginan udara, kopling otomatis, tipe basah, tahun pembuatan 2014. Sistem kopling ada dua sistem yaitu: (1) sistem kopling otomatis, (2) sistem kopling manual. Sistem kopling otomatis bekerja berdasarkan gaya sentrifugal yang memutus dan menghubungkan tenaga mesin tergantung dari putaran mesin. Sistem ini diterapkan pada sepeda motor tipe *metic*. Sistem kopling manual meputus dan menghubungkan tenaga mesin atau pembebasan kopling dilakukan oleh pengendara itu sendiri. Sistem ini diterapkan pada sepeda motor *sport*. Modifikasi sistem kopling otomatis menjadi sistem kopling manual. Kedua sistem ini diuji dan dianalisis, untuk mengetahui akselerasi pada sepeda motor supra x tahun 2014.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kopling

Menurut [2] kopling merupakan penghubung dan pemutus tenaga atau putaran mesin dari poros engkol. Kopling umumnya terletak di antara reduksi primer dan transmisi. Kopling yang diterapkan pada sepeda motor ada dua sistem sebagai berikut :

1. Sistem kopling otomatis merupakan kopling yang beroperasi berdasarkan gaya sentrifugal, serta menghubungkan dan memutuskan tenaga mesin dimana sangat tergantung dari putaran mesin.
2. Sistem kopling manual merupakan kopling yang beroperasi secara manual dan dilakukan oleh pengendara langsung.

3.1.1. Sistem Kopling Otomatis

Kopling otomatis berkedudukan pada poros engkol dan ada juga berkedudukan pada poros primer perseneling. Mekanisme atau peralatan kopling otomatis tidak berbeda jauh dengan peralatan pada kopling manual. Perbedaan utamanya adalah tidak adanya perlengkapan atau komponen handel tetapi sebagai penggantinya pada sistem kopling otomatis ini ditambahkan alat khusus yang bekerja juga secara khusus sebagai berikut [2]:

1. Otomatis kopling, terdapat pada kopling tengah yang berkedudukan pada poros engkol.
2. Rol memberat yang berfungsi untuk memberikan tekanan pada pelat dasar pada saat digas.
3. Pegas kopling bermanfaat pada saat mesin hidup lambat, koplingnya dapat netral.
4. Pegas pengembali berfungsi untuk mengembalikan secara cepat dari posisi masuk ke posisi netral, apabila mesin hidup dengan putaran tinggi kemudian menjadi rendah.

Susunan pemasangan komponen pada sistem kopling otomatis dapat menempatkan kanvas kopling serta pelat kopling merenggang. Hal ini berbeda dengan pemasangan komponen pada kopling manual, dimana pelat dan kanvas kopling dipasang merapat.

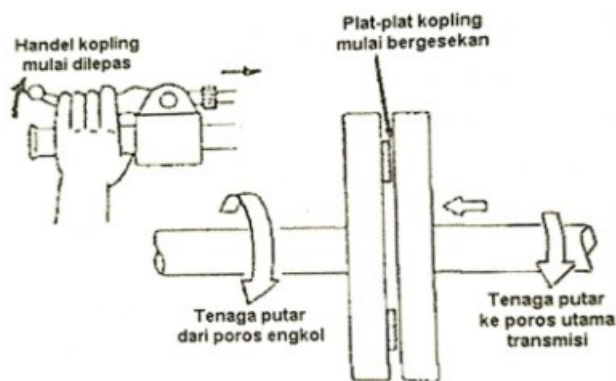
Prinsip kerja dari sistem kopling otomatis adalah pada waktu putaran mesin lambat, kanvas dan pelatnya masih merenggang sehingga putaran mesin dari poros engkol belum terhubung menuju transmisi dan roda belakang. Pada waktu putaran mesin meningkat gaya sentrifugal dapat mulai bekerja pada bagian pemberat kopling sehingga pemberat bergerak menekan pelat kopling. Hal ini dapat menghasilkan merapatnya kanvas dan pelat kopling, sehingga putaran mesin dan poros engkol akan dihubungkan ke transmisi dan akan dilanjutkan keroda belakang [2].

3.1.2. Sistem Kopling Manual

Menurut [2] sistem kopling manual terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

1. Handel terdiri atas : tali koplin (kabel kopling), tuas, dan pen pendorong.
2. Gigi primer kopling, rumah kopling (*clutch housing*), pelat gesek (*friction plate*), per (*coil spring*), pengikat (baut), kopling tengah (*centre clutch*), pelat tutup atau pelat penekan (*pressure plate*), klep penjamin dan batang penekan (*release rod*).

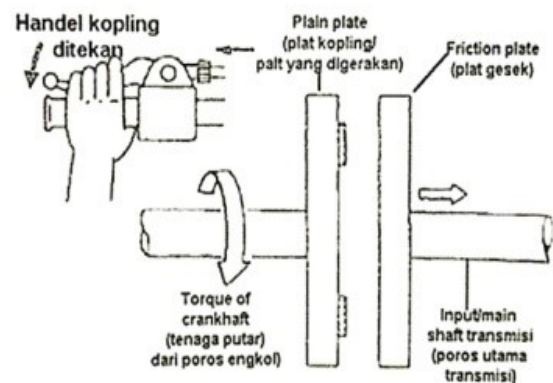
Cara kerja sistem kopling manual: apabila handel kopling pada batang kemudi tidak ditarik maka pelat tekan dan pelat gesek akan terjepit oleh piring penekan dengan bantuan pegas dari kopling, sebagai akibatnya tenaga putar dari poros dapat sampai ditransmisikan ke roda belakang. Sedangkan apabila handel kopling ditarik maka kawat kopling menarik alat pembebas kopling. Alat pembebas kopling ini menekan batang tekan (*pushrod*) atau *release rod* yang ditempatkan pada poros utama. *Pushrod* mendorong piring penekan berlawanan arah pegas kopling. Akibatnya pelat gesek dan pelat tekan dapat saling merenggang dan putaran rumah kopling tidak diteruskan ke poros utama, atau hanya dapat memutar rumah kopling dan pelat gesek saja.[2]



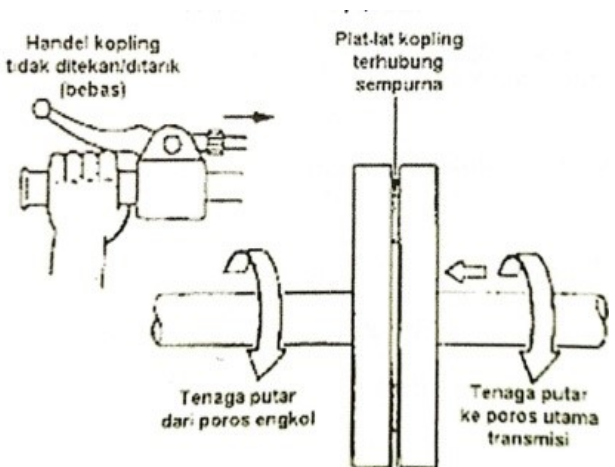
Gambar 1. Putaran mesin pada posisi tidak diteruskan ke transmisi saat handel kopling ditarik [2]

Aliran tenaga (putaran) dari mesin ke transmisi dapat diperlihatkan pada gambar1, 2 dan 3. Gambar 1 menunjukkan saat handel kopling ditekan sehingga kopling saat ini tidak meneruskan putaran dari mesin ke transmisi. Gambar 2 memperlihatkan saat handel kopling mulai dilepas sehingga pada saat ini pelat-pelat pada kopling mulai berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga putaran dari mesin (*crankshaft*) mulai diteruskan ke

transmisi. Sedangkan gambar 3 memperlihatkan saat handel kopling dilepas penuh sehingga putaran dari mesin diteruskan dengan sempurna ke transmisi karena antara pelat kopling dan pelat gesek pada kopling sudah saling berhubungan [2].



Gambar 2. Putaran mesin mulai diteruskan ke transmisi saat handel kopling mulai dilepas [2]



Gambar 3. Putaran mesin diteruskan dengan sempurna ke transmisi saat handel kopling dilepas penuh [2]

3.1.3. Akselerasi

Akselerasi adalah percepatan atau perubahan kecepatan dalam satuan waktu tertentu. Dalam hukum fisika diberi symbol (a), kenyataan inilah yang disebut dengan percepatan [3].

Percepatan suatu objek yang bergerak semakin cepat atau semakin lambat. Bila bergerak semakin cepat artinya percepatan bernilai positif, dan bila bergerak semakin lambat artinya percepatan bernilai negatif [3]. Contohnya percepatan positif adalah kecepatan sepeda motor dari rpm nol hingga *top speed*, sedangkan percepatan bernilai negative adalah pada pengereman sepeda motor. Menurut [3] dalam menghitung kecepatan dan percepatan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Rumus kecepatan

$$V = x.t \text{ m/detik} \quad (1)$$
 Dimana: V = kecepatan, X = jarak, t = waktu

2. Rumus percepatan

$$a = V.t \text{ m/detik}^2 \quad (2)$$
 Dimana: a = percepatan, V = kecepatan, t = waktu.

3.2 Pembahasan

Pengujian dilakukan setelah modifikasi sistem kopling otomatis menjadi sistem kopling manual, yang dilakukan oleh dua pengendara sepeda motor supra x tahun 2014. Kedua pengendara melakukan pengujian pada dua sistem tersebut. Hasil data yang diperoleh dari dua pengendara tersebut, yang masing-masing menggunakan dua sistem kopling yaitu pengendara pertama dan kedua menggunakan sistem kopling otomatis, dan pengujian berikutnya pengendara pertama dan pengendara kedua menggunakan sistem kopling manual hasil pengujian yang diperoleh masing-masing dibuat dua tabel. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui akselerasi dari kedua sistem tersebut.

Berikut tabel hasil data yang diperoleh dari pengujian akselerasi pada sepeda motor menggunakan sistem kopling otomatis dan sistem kopling manual.

Tabel 1. Hasil pengujian menggunakan sistem kopling otomatis pengendara pertama.

No	Jarak (m)	Waktu (detik)
1	300	18,35
2	300	18,37
3	300	18,35
4	300	18,36
5	300	18,34
Rata-rata		18,35

Tabel 2. Hasil pengujian menggunakan sistem kopling otomatis pengendara kedua.

No	Jarak (m)	Waktu (detik)
1	300	18,37
2	300	18,35
3	300	18,36
4	300	18,36
5	300	18,37
Rata-rata		18,36

Tabel 3. Hasil pengujian menggunakan sistem kopling manual pengendara pertama.

No	Jarak (m)	Waktu (detik)
1	300	16,12
2	300	16,13
3	300	16,11
4	300	16,09
5	300	16,11
Rata-rata		16,12

Tabel 4. Hasil pengujian menggunakan sistem kopling manual pengendara kedua.

No	Jarak (m)	Waktu (detik)
1	300	16,17
2	300	16,18
3	300	16,17
4	300	16,19
5	300	16,18
Rata-rata		16,18

Setelah diperoleh data hasil pengujian dari dua pengendara menggunakan sistem kopling otomatis dan sistem kopling manual, dilakukan perhitungan data sebagai berikut: Perhitungan kecepatan dan percepatan pengendara pertama dan kedua dengan sistem kopling otomatis. Perhitungan kecepatan pengendara pertama dengan sistem kopling otomatis.

$$V = x.t = 300 \times 18,35 = 5,505 \text{ m/detik} \quad (3)$$

Perhitungan percepatan pengendara pertama dengan sistem kopling otomatis

$$a = V.t = 5,505 \times 18,35 = 101,01 \text{ m/detik}^2 \quad (4)$$

Hasil perhitungan kecepatan dan percepatan untuk data berikutnya sama dengan perhitungan pada pengendara pertama dengan sistem kopling otomatis, hasil perhitungan ditabelkan.

Hasil dari perhitungan kecepatan dan percepatan yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil perhitungan pengendara pertama

No	V kopling otomatis (m/detik)	Kopling otomatis (m/deti ²)	V kopling manual (m/detik)	Kopling manual (m/deti ²)
1	5,505	101,01	4,836	77,95
2	5,511	101,23	4,839	78,05
3	5,505	101,01	4,833	77,85
4	5,508	101,12	4,827	77,66
5	5,502	101,90	4,833	77,85
		101,05		77,87

Tabel 6. Hasil perhitungan pengendara kedua

No	V kopling otomatis (m/detik)	Kopling otomatis (m/deti ²)	V kopling manual (m/detik)	Kopling manual (m/deti ²)
1	5,511	101,23	4,851	78,44
2	5,505	101,01	4,854	78,53
3	5,508	101,12	4,851	78,44
4	5,508	101,12	4,857	78,63
5	5,511	101,23	4,854	78,51
		101,14		78,51

Tabel 7. Rata-rata hasil perhitungan percepatan antara pengendara pertama dan kedua dengan sistem kopling otomatis dan sistem kopling manual

Subjek	Kopling otomatis (m/deti ²)	Kopling manual (m/deti ²)
Pengendara pertama	101,05	77,87
Pengendara kedua	101,14	78,51
Rata-rata	101,095	78,19

Pada Tabel. 7 menunjukkan bahwa pengendara yang menggunakan sistem kopling otomatis rata-rata percepatannya sebesar 101,095 m/detik², sedangkan

pengendara yang menggunakan sistem kopling manual rata-rata percepatannya sebesar $78,19 \text{ m/detik}^2$, hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan antara pengendara yang menggunakan sistem kopling otomatis dengan pengendara yang menggunakan sistem kopling manual sebesar $101,095 \text{ m/detik}^2 - 78,19 \text{ m/detik}^2 = 22,905 \text{ m/detik}^2$ atau $22,65 \%$. Dapat dikatakan bahwa penggunaan sistem kopling manual akselerasinya lebih cepat dibandingkan dengan penggunaan sistem kopling otomatis.

4. Kesimpulan

Bertitik tolak dari hasil analisis dari dua pengendara sepeda motor yang menggunakan sistem kopling otomatis dan sistem kopling manual, dapat disimpulkan sebagai berikut : bahwa pengendara yang menggunakan sistem kopling otomatis rata-rata percepatannya sebesar $101,095 \text{ m/detik}^2$, sedangkan pengendara yang menggunakan sistem kopling manual rata-rata percepatannya sebesar $78,19 \text{ m/detik}^2$, hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan antara pengendara yang menggunakan sistem kopling otomatis dengan pengendara yang menggunakan sistem kopling manual sebesar $101,095 \text{ m/detik}^2 - 78,19 \text{ m/detik}^2 = 22,905 \text{ m/detik}^2$ atau $22,65 \%$. Dapat dikatakan bahwa penggunaan

sistem kopling manual akselerasinya lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan sistem kopling otomatis.

Ucapan Terima Kasih

Dengan telah diterbitkan artikel ini, penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan dan dukungan administratif dari tim lab. refrigerasi dan tata udara Politeknik Negeri Bali.

Daftar Pustaka

- [1] I.M. Bakta, "Rancangan Penelitian", Disampaikan pada seminar Metodologi Penelitian. Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Denpasar, 20 Agustus 2000.
- [2] Daryanto, "Teknik Sepeda Motor", Erlangga, Yogyakarta, 2014.
- [3] M. Yusf, "Fisika Terapan". Politeknik Negeri Bali, Badung, 2011
- [4] Harsanto. "Motor Bakar", Penerbit Djambatan, Jakarta, 1969
- [5] P. Kristanto, "Motor Bakar Torak", CV. Andi, Yogyakarta, 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

Simulasi sistem pompa suplai air bersih dengan kontrol berbasis PLC

Sudirman^{1*}, I Nyoman Gede Baliarta¹, I Ketut Suherman¹ dan Achmad Wibolo¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Poliieknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Bali 80364, Indonesia

*Email: dirmansdr@pnb.ac.id

Abstrak

Makalah ini membahas tentang simulasi kontrol sistem pompa air bersih berbasis PLC. Alat simulasi ini menggunakan 3 buah tangki: tower tank, tangki konsumsi dan ground tank. PLC yang digunakan Smart Relay Zelio SR3PACKBD. Inputnya merupakan sebuah sensor batang baja tahan karat yang ditempatkan pada tower tank dan ground tank. Sedangkan outputnya terdiri atas 2 buah motor pompa dan selenoid valve. Adapun program PLC yang diterapkan merupakan Ladder diagram dengan program ZELIO SOFT 2. Hasil pengujian pada sistem simulasi menunjukkan hasil yang memuaskan dan peralatan yang diperlukan lebih sederhana apabila dibandingkan dengan kontrol konvensional.

Kata kunci: smart relay, input, output, ladder diagram

Abstract: This paper discusses the simulation of control of a clean water pump system based on PLC. This simulation tool uses 3 tanks: tower tank, consumption tank and ground tank. The PLC used is the Zelio SR3PACKBD Smart Relay. The input is a stainless steel rod sensor placed in the tower tank and ground tank. The output is 2 pump motors and a solenoid valve. PLC program used Ladder diagram with ZELIO SOFT 2 programs. The test results show satisfactory results and the equipment required is very simple compared to conventional controls.

Keywords: smart relay, input, output, ladder diagram

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Tujuan utama dalam perancangan sistem suplai air untuk bangunan bertingkat adalah untuk memastikan pasokan air yang memadai setiap saat, baik dari segi tekanan yang dibutuhkan dan debitnya untuk semua outlet, perlengkapan, dan peralatan. Selain itu, juga untuk mencapai penghematan energi, efisien, dan hemat energi. [1].

Bali sebagai tujuan wisata mancanegara dan domestik, harus menyediakan akomodasi yang cukup untuk menjamin kenyamanan para tamu Mancanegara dan Domestik, selama keberadaan mereka selama di Bali. Hotel dan Villa tumbuh berjamuran mengantisipasi kedatangan para tamu. Fasilitas gedung hotel dan Villa menyesuaikan status Hotel dan Villa tersebut. Fasilitas dasar untuk Hotel dan Villa adalah tersedianya air bersih setiap saat diperlukan.

Terganggunya system supplay air bersih pada suatu hotel mengakibatkan terganggu juga kenyamanan para tamu yang menginap dan akan menurunkan kredibilas hotel tersebut, pada akhirnya akan menurunkan tingkat hunian

Hotel. Untuk itulah diperlukan system suplai air bersih yang handal untuk memenuhi kebutuhan dasar para tamu, agar kredibilitas hotel tersebut tetap terjaga.

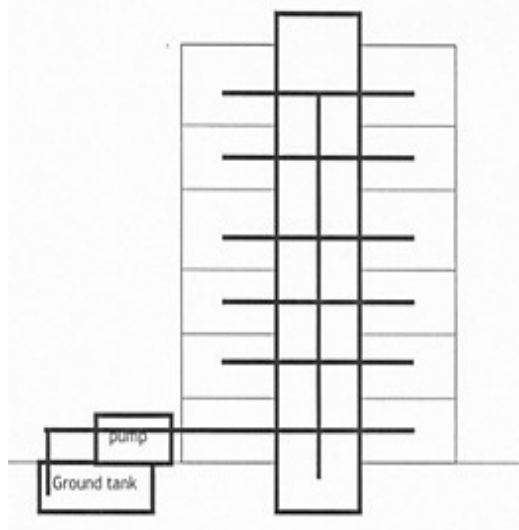
Banyak terdapat sistem suplai bersih dan terpasang di hotel tergantung dari permintaan pihak owner hotel. Sistem suplai menggunakan tangki tower dan distribusi secara gravitasi maupun sistem suplai menggunakan ground tank dan distribusi menggunakan pompa. Masing-masing sistem memiliki kelebihan dan kekurangan [2].

Utilitas gedung terdiri dari Mekanikal dan elektrik system. Salah satu sub mekanikal system adalah sistem suplai air bersih. Sistem suplai air bersih yang terpasang di hotel-hotel kebanyakan menggunakan 2 atau 3 buah pompa suplai. Untuk hotel atau villa dengan lokasi datar, kebanyakan pompa mensuplai langsung ke end-user dengan menggunakan tekanan sebagai kontrol on-off pompa. Sedangkan hotel atau villa dengan lokasi bertingkat tinggi, tower tank umumnya diterapkan untuk distribusi air ke end-user. [3].

Sistem Penyaluran Air Bersih di dalam gedung bertingkat oleh Wujek, Joseph B.[4] dibagi dalam beberapa system, yaitu :

1.1. Up-Feed System

Pada sistem up-feed ini pipa distribusi dari tangki bawah (ground tank) melalui pompa disambungkan dengan pipa utama dari sistem air bersih di dalam bangunan. Sistem ini sepenuhnya memanfaatkan kemampuan pompa (Gambar 1). Karena keterbatasan tekanan di pipa dan ukuran pipa cabang dari pemipaan yang utama, sistem ini sangat cocok diterapkan untuk aplikasi perumahan dan bangunan kecil dan rendah [5]. Pembuatan relative murah tetapi pompanya dapat rusak lebih cepat.



Gambar 1. Up feed system

Kerugian sistem up feed ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- Pompa bekerja secara terus-menerus
- Ketinggian terbatas sebagai akibat dari kekuatan pipa yang terbatas dalam mengantisipasi tekanan air.

1.2. Down Feed System

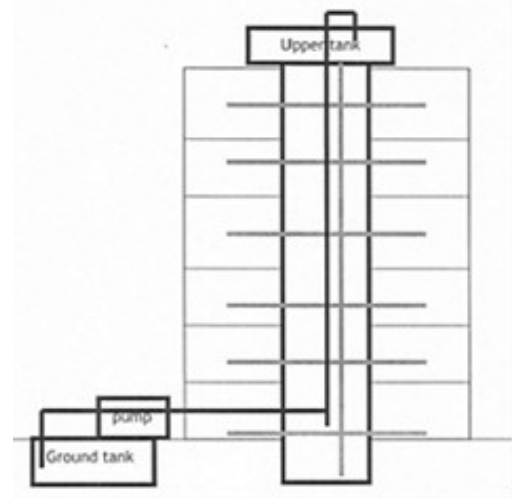
Pada sistem down feed ini, air ditampung terlebih dahulu di dalam tangki bawah (ground tank), lalu dipompa ke tangki atas atau upper tank yang dapat dipasang di atas atap atau di lantai paling tinggi dari bangunan. Dari tangki atas air didistribusikan ke seluruh bagian bangunan. Sistem tangki atap cukup efisien apabila airnya digunakan secara kontinyu. Perubahan tekanan dapat terjadi pada sistem plambing. Sistem pompa menaikkan air bersih ke tangki atas beroperasi otomatis dan sederhana sehingga kesulitan dapat dihindari. Di samping itu perawatan tangki yang ada cukup sederhana dibandingkan dengan tangki jenis tekan.

Kelebihan sistem down feed ini seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2 adalah:

- Pompa tidak beroperasi secara kontinyu sehingga dapat lebih efisien dan lebih awet.
- Air bersih dapat selalu tersedia
- Tidak memerlukan pompa otomatis

Kekurangan dari sistem down-feed mencakup: untuk pemakai dalam jangka waktu lama, dapat dikatakan efektif dan efisien. Tetapi biaya pembuatannya relative lebih mahal. Pada gedung dengan jumlah lantai yang

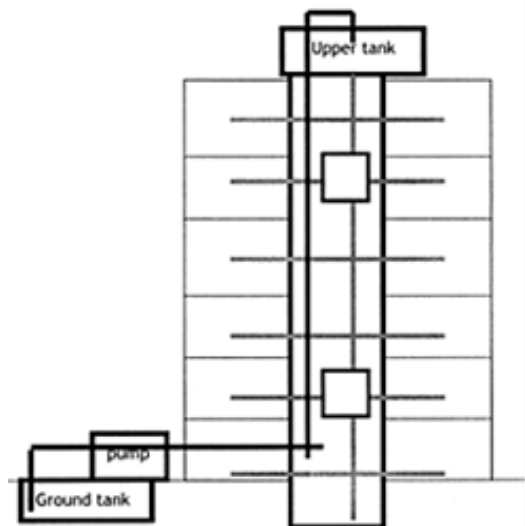
banyak, tekanan air di dalam pipa menjadi sangat tinggi. Sebagai akibatnya pipa dapat pecah. Pada setiap beda ketinggian 10 meter pipa dapat menerima tekanan sekitar 1 atmosfer. Maka pada sistem down feed dilengkapi dengan: Spillback Tank.



Gambar 2. Down-feed system

1.3. Spillback Tank

Tangki jenis ini merupakan tangki pembantu yang ditempatkan pada setiap jumlah lantai tertentu seperti yang disajikan pada Gambar 3. Setiap tangki biasanya dilengkapi dengan katup pengatur tekanan. Apabila tekanan air tinggi, katup dapat menutup. Hal yang penting dalam sistem dengan tangki atap yaitu menentukan posisi tangki. Tangki dapat dipasang pada langit-langit, di atap, atau menggunakan menara khusus.



Gambar 3. Down-feed system dengan spillback tank

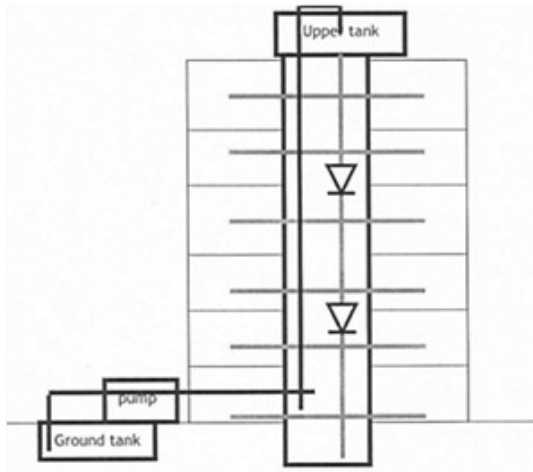
Prinsip Kerja Sistem down feed dengan spillback tank ini adalah:

- Air yang dipompakan di dalam spillback tank yang tersedia pada beberapa lantai, dimana udara yang ada di dalamnya terkompresi.
- Air dalam tangki dialirkan menuju sistem distribusi dari bangunan. Pompa yang digunakan diatur secara otomatis.

- c. Pompa dapat berhenti bekerja apabila tekanan tangki mencapai batas maksimum dan bekerja kembali setelah mencapai suatu batas minimum tertentu. Daerah fluktuasi tekanan biasanya ditetapkan antara 1,0 -1,5 kg/cm².

1.4. Pressure Reducer Valve (Katup Reduksi Tekanan)

Pada gedung dengan jumlah lantai yang banyak, ada kemungkinan tekanan air dalam pipa menjadi sangat tinggi sehingga perlu diturunkan dengan menggunakan katup (valve) yang dapat diletakkan pada lantai-lantai tertentu (Gambar 4).



Gambar 4. Down feed system dengan pressure reducer valve

1.5. Beberapa Sistem yang Diaplikasikan di Hotel

Survey pendahuluan yang telah dilakukan untuk mengetahui secara langsung instalasi sistem suplai air bersih di hotel berkenaan dengan penelitian ini, yaitu:

1.5.1. Double-Six.Luxury Hotel Seminyak

Instalasi system suplai bersih di Double-Six.Luxury Hotel Seminyak menggunakan 3 buah pompa (Gambar 5 dan 6). Ketiga pompa tersebut hidup secara bergantian dikontrol oleh Panel Kontrol. Instalasi ini tanpa tower tank. Dari pompa, air didistribusikan langsung ke pengguna dengan tekanan 3.5 Bar, menggunakan Pressure Transmitter Digital.



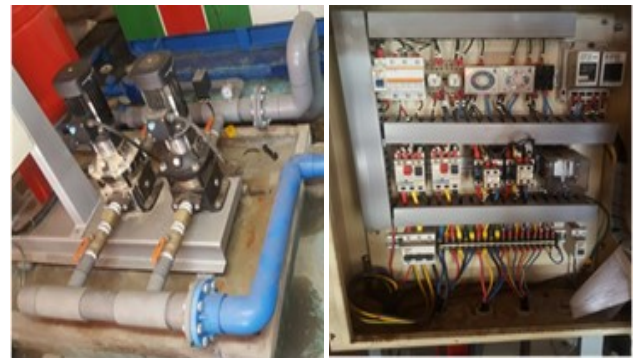
Gambar 5. Instalasi sistem suplai air bersih di Double-Six Luxury Hotel Seminyak



Gambar 6. Kontrol panel sistem suplai air bersih di Double-Six Luxury Hotel Seminyak

1.5.2. Estate Villa Four Seasons Resort Jimbaran.

Sistem suplai air bersih pada Estate Villa Four Seasons Resort Jimbaran (Gambar 7) menggunakan 2 buah pompa. Peralihan Pompa on duty dari pompa 1 ke pompa 2 menggunakan switch over relay. Air didistribusikan langsung ke end-user dari pompa dengan menggunakan pressure switch untuk on-off nya.



Gambar 7. Instalasi pemipaan dan panel kontrol sistem suplai air bersih di Estate Villa Four Seasons Resort

1.5.3. Luna 2 Hotel Seminyak

Air bersih yang dipompa dari ground tank ke tower tank, hidup mati pompa berdasarkan dialirkan ke end user secara gravitasi (Gambar 8). Hidup mati pompa suplai ke tower menggunakan WLC berdasarkan level air di tower tank.



Gambar 8. Instalasi sistem suplai air bersih dan tower tank di Luna 2 Hotel Seminyak

Kontrol pompa yang sudah banyak diaplikasikan sekarang adalah menggunakan PLC, seperti yang dilakukan oleh Indra Saputra dkk [6]. Rancangan Water Level Control menerapkan PLC Omron Sysmac C200H dengan Software SCADA Wonderware InTouch 10.5. Dendin Supriadi, (2015), membuat sistem pengendalian ketinggian permukaan air menggunakan sensor ultrasonic berbasis PLC (Programmable Logic Controller), Untuk sistem monitoring dan kontrol interface pada sistem ini diterapkan HMI Omron NB7W- TW00B. Dengan sistem ini semua kejadian yang mungkin terjadi pada sistem dapat langsung dikendalikan dan dimonitoring berdasarkan realtime. Sistem pengendalian ketinggian permukaan air ini memiliki dua sistem kontrol, yaitu kontrol otomatis dan kontrol secara manual.

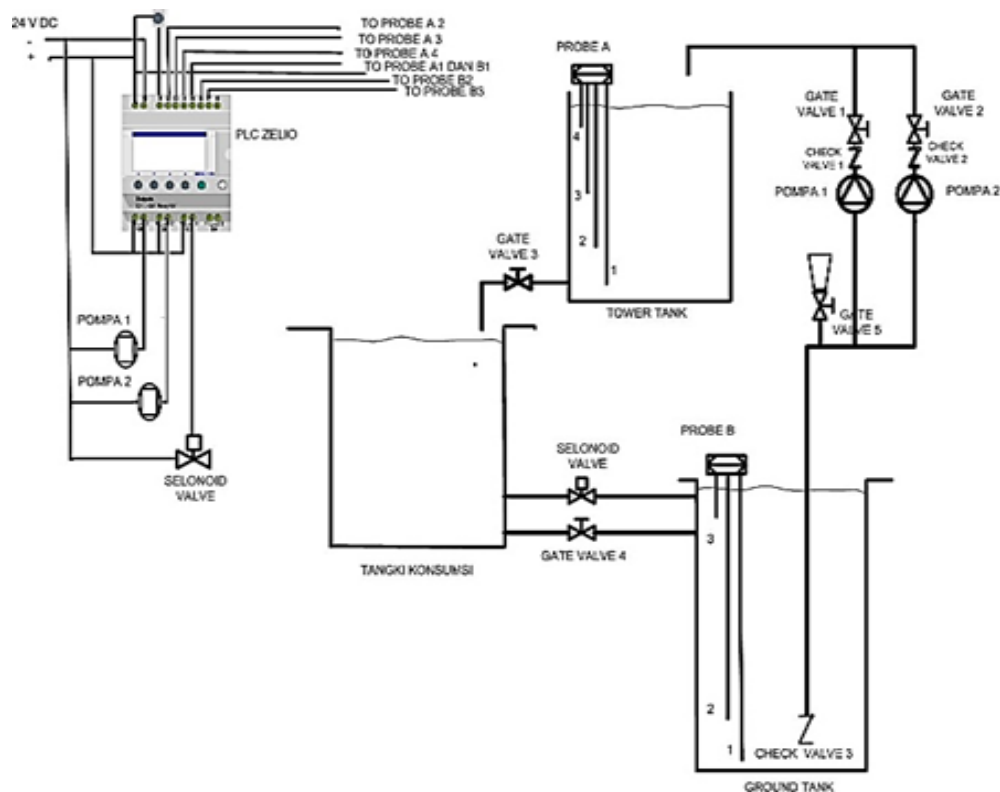
Sri Kusumastuti dan Suryono [7], membuat alat peraga praktikum kontrol level air pada tandon dan bak menggunakan PLC. Dengan output berupa pompa air dan

solenoid valve. [8], merancang water level control dengan mengaplikasikan PLC. Dengan input berupa sensor elektronik berupa limit switches dan outputnya berupa motor pompa dan selenoid valve, serta mereka membuat program Ladder logic Diagram menggunakan Logo Softcomfort.

Paper yang ditulis oleh Cosmina Illes [9], tentang sistem water level control sistem menggunakan PLC and wireless sensors. Tujuan dari makalah tersebut adalah untuk menyajikan metode biaya termurah untuk kontrol ketinggian air menggunakan nirkabel. Untuk proyek water level control yang dibuat ini menggunakan PLC Schneider Smart Relay Zelio Logic SR3PACKBD.

2. Metode

Skema yang dibangun dalam proyek simulasi sistem air bersih dengan PLC ini adalah seperti pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Skema simulasi kontrol pompa air bersih menggunakan PLC

Skema Simulasi control pompa seperti yang disajikan pada Gambar 9 terdiri dari 3 buah tangki, yaitu:

1. Tower Tank sebagai penampung air yang posisinya paling tinggi, atau posisinya di atap gedung. Tower tank dilengkapi dengan probe A (sensor level air) dengan 4 batang sensor.
 - a. Sensor No. Probe A1 sebagai cummon
 - b. Sensor No. Probe A2 sebagai sensor low level
 - c. Sensor No. Probe A3 sebagai sensor medium level
 - d. Sensor No. Probe A4 sebagai sensor hight level.
2. Tangki Konsumsi adalah tangki yang merupakan tangki penampungan air yang keluar dari Tower Tank yang diasosiasikan sebagai konsumen air yang ada dalam sebuah gedung. Tangki konsumsi dihubungkan dengan ground tank dengan 2 pipa berbeda. Pipa satu dilengkapi

dengan solenoid valve, yang cara kerjanya adalah saat ground tank diposisi low level, solenoid valve akan otomatis terbuka. Pipa yang kedua dilengkapi dengan gate valve 4, yang bekerja secara manual.

3. Ground Tank adalah tangki penampungan yang posisinya dilokasi paling bawah dari sebuah bangunan. Tempat penampungan air dari perusahaan air minum atau penampungan air bawah tanah. Ujung pipa yang masukk ke ground tank adalah pipa suction pompa dipasang check valve 3 yang fungsinya agar pipa suction pompa selalu ada air. Ground tank dilengkapi dengan probe B. Yang terdiri dari 3 batang sensor,
 - a. Sensor No. Probe B1 adalah sebagai cummon
 - b. Sensor No. Probe B2 sebagai sensor Low level
 - c. Sensor No. Probe B3 sebagai sensor hight level.

2.1. Description Sistem

Alat simulasi ini menggunakan 2 buah pompa, yang memindahkan air dari Ground tank ke Tower tank, pada saat air tersebut dikonsumsi (gate valve 3 dibuka manual), air ditampung oleh tangki konsumsi. Tangki konsumsi menampung air dari tower tank dan meneruskan ke ground tank kembali. Demikian siklus air yang ada dalam alat simulasi ini.

Sistem kontrol akan bekerja jika kondisi level air pada Ground tank tidak mencapai posisi Low Level (batang Probe B2 tidak menyentuh air) dan kondisi level air di Tower tank tidak high level (batang Probe A4 tidak menyentuh air).

Saat sensor Probe B3 ground tank terendam air dan Probe A2 tidak tersentuh air pada tower tank, Pompa 1 dan Pompa 2 akan hidup memompakan air ground tank ke tower tank, Saat level air tower tank menyentuh sensor Probe A3, pompa 2 akan mati dan hanya pompa 1 yang tetap hidup. Ketika level air mencapai/menyentuh probe B4 (high level), pompa 1 akan mati juga.

Ketika gate valve 3 dibuka, air mengalir mengisi tangki konsumsi. Ketika level air tower tank menurun dan batang probe A3 tidak tersentuh air, pompa 2 otomatis akan hidup memompakan air dari ground tank mengisi tower tank. Saat konsumsi air terlalu banyak, level air tower tank menurun terus dan level air tidak menyentuh sensor probe A2, maka pompa 1 akan hidup juga mengisi tower tank.

Jika pompa hidup terus menerus, dan kondisi level air pada ground tank turun terus hingga level air ground tank tidak menyentuh batang probe B2, maka sistem tidak akan bekerja. Karena kalau diteruskan akan berakibat pompa akan bekerja dalam kondisi dry running (tidak ada air yang dipompakan). Hal tersebut bisa mengakibatkan pompa rusak dan sistem ini dibuat untuk menyelamatkan pompa dari kondisi rusak parah.

Dalam kondisi tersebut, selenoid valve akan otomatis terbuka, mengisi air dari tangki konsumsi, air mengalir secara gravitasi.

2.2. Program PLC (Ladder Diagram Program)

Program PLC ini berupa Ladder Diagram Program yang akan di-upload/ditransfer ke PLC. PLC yang digunakan adalah PLC SMART RELAY ZELIO SR3PACKBD. Sedangkan software yang digunakan adalah ZELIO SOFT 2. PLC dan software-nya merupakan produk dari SCHNEIDER.

Untuk program PLC ada input dan output. Input dari PLC adalah:

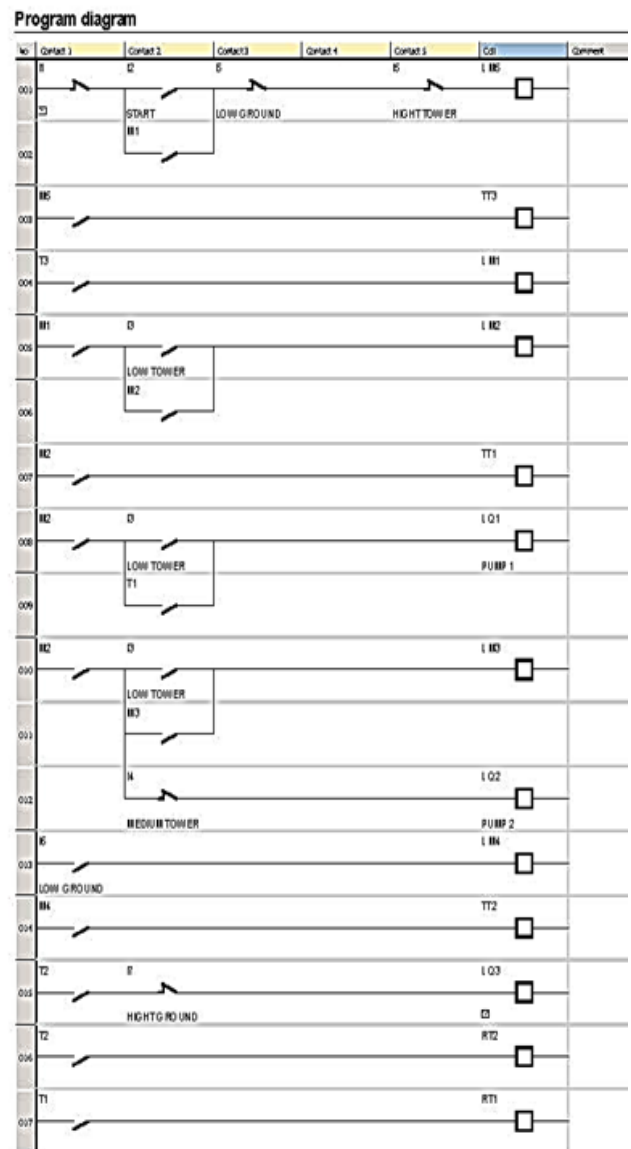
- Input 1 adalah start program berupa tombol push button
- Input 2 adalah sensor Probe A2 (low level tower tank)
- Input 3 adalah sensor probe A3 (medium level tower tank)
- Input 4 adalah sensor probe A4 (high level tower tank)
- Input 5 adalah sensor probe B2 (low level ground tank)
- Input 6 adalah sensor probe B3 (high level ground tank).

Output dari PLC adalah;

- Output 1 adalah Pompa 1
- Output 2 adalah Pompa 2

c. Output 3 adalah Selenoid Valve.

Adapun Ladder Diagram Program yang dibuat sesuai dengan sistem kerja seperti yang diuraikan diatas adalah seperti Gambar 10.



Gambar 10. Ladder diagram

3. Hasil dan Pembahasan

Program Ladder Diagram yang dibuat menggunakan Zelio Soft 2 program, kemudian diupload ke PLC Smart Relay menggunakan kabel USB SR2USB01 yang kompatibel dengan Windows 7, 8,1 atau 10.



Gambar 11. PLC Schneider SR3PACKBD dan kabel USB SR2USB01

Setelah Ladder diagram di upload ke PLC, hasil dari running test simulasi kontrol water supplay sistem dengan PLC adalah sebagai berikut yang ditampilkan dalam bentuk Tabel 1.

Tabel 1. Matrik kerja *water supplay pump system*

No	Kondisi Level air	On Duty		
		Pompa 1	Pompa 2	Solenoid Valve
1	Hight Level Tower Tank	OFF	OFF	OFF
2	Medium Level Tower Tank	ON	OFF	OFF
3	Low Level Tower Tank	ON	ON	OFF
4	Hight Level Ground Tank	ON	ON	OFF
5	Low Level Ground Tank	OFF	OFF	ON

Tabel 1 adalah kondisi output dengan beberapa kondisi input yang berupa level air yang ada di ground tank dan tower tank. Pompa 1 akan bekerja saat tower tank dengan kondisi low, medium level dan kondisi ground tank hight level. Pompa 2 bekerja saat tower tank kondisi low level dan ground tank kondisi hight level. Solenoid valve akan bekerja atau terbuka jika ground tank dalam kondisi low level, yang akan mengalirkan air dari tangki konsumsi ke ground tank.

4. Kesimpulan

Simulasi Kontrol Water supplay system berbasis PLC yang dibuat menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Keuntungan besar dari kontrol water supplay berbasis PLC adalah memiliki akurasi maksimum, juga memiliki keandalan yang lebih tinggi dan kebutuhan ruang kecil dibandingkan kontrol konvensional.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada P3M a Politeknik Negeri Bali yang telah mendanai penelitian ini lewat dana DIPA reguler 2021.

Daftar Pustaka

- [1] F. Rodrigues, R. Vicente, A.S. Afonso, M. João Sá, "The contribution of the water supply and drainage installations for the sustainability of an academic building", Proceedings of 37th International Symposium CIB W062 on Water Supply and Drainage for Buildings, 25 – 28th September 2011 - Aveiro, Portugal
- [2] A. Pears, "The 60L Green Building – How does it minimise mains water consumption?", Seminar Proceedings Redesigning the Urban Water Cycle, Institute for Sustainable Futures, Washington, D.C, 2002.
- [3] V. Chanan, "Sustainable Water Management in Commercial Office Buildings", Innovations in Water: Ozwater Convention & Exhibition, 6-10 April 20013, Perth.
- [4] J.B. Wujek, "Mechanical and electrical systems in architecture, engineering, and construction", 5th ed., New Jersey, 2010.
- [5] Alfred, "High-Rise Domestic Water Systems, Advanced Plumbing Technology", Construction Industry Press, Elmhurst, IL, 2003.
- [6] I. Saputra, L. Hakim, S. Ratna, "Perancangan Water Level Control Menggunakan PLC Omron Sysmac C200H Yang Dilengkapi Software SCADA", Wonderware InTouch 10.5, Volume 7, No. 1, 2013.
- [7] S. Kusumastuti dan Suryono, "Rancang Bangun Peraga Praktikum Kontrol Level Air Pada Tandon Dan Bak Menggunakan PLC", ORBITH VOL. 11 NO. 1, 2015, pp. 9 – 13.
- [8] G. Alem, K. Vankdoth, "Automatic Fluid Level Control Using Programmable Logic Controller", International Research Journal of Engineering, 2016.
- [9] C. Illes, G.N. Popa and I. Filip, "Water level control system using PLC and wireless sensors", reseach gate.net /publication/261381165, 2014.



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

Motorcycle wheel rim press tool design

I Nengah Ludra Antara^{1*}, I Nyoman Sutarna¹, Ida Bagus Puspa Indra¹ dan I Nyoman Gunung¹

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

*Email: nengahludraantara@yahoo.com

Abstract

In motor vehicles, especially motorcycles, sometimes there are a lot of problems with the wheel rim in the event of an accident, or hit by a pothole that causes the wheel rim to be dented. In this case, we design a motorcycle wheel rim press tool as shown in Figure 2.1. The things that must be considered for a tool design in material selection are hardness, strength, fragility. The types of materials used are carbon steel, alloy steel, hollow steel, U iron, axle iron, angle iron, plate iron. In general, there are several grades of iron, including JIS G3101 SS400, ASTM A36; BS 4360; DIN 17 100JIS G 3101; JIS 3106; SNI 07 2054, which has a different maximum tensile strength or stress by using formulas, for example the calculation of shafts, levers, weld strength and selection of hydraulic jacks. Supporting instruments in the process of working on the wheel rim press tool are machine tools and other measuring tools. To obtain truly satisfactory results from a tool, we are required to observe and look for alternatives and as carefully as possible in order to achieve a result that meets the standard. The tool must have high efficiency, easy to operate, and uphold work safety. Based on the results of the design and testing of the design of this motorcycle wheel rim press tool, it is more efficient, fast, and precise when compared to the tools owned by David Jaya Motor's workshop. The time required is faster according to the test results, which is between 25 minutes to 40 minutes with different wheel rim damage cases, while manually at the David Jaya Motor workshop, from observing field test results it takes a minimum of 90 minutes.

Keywords: Design, motorcycle, wheel rim, press tool

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Introduction

1.1. Research Background

Design is the engineering of a construction or structure that embodies the concept into goods or tools. The design activity of a construction must consider several criteria, namely easy, simple, easily available components on the market, economical, aesthetic and effective [1], in the advancement of science and technology, especially in the automotive sector, the world of higher education is increasingly demanded to further increase creativity, innovation. quality, superior and professional students. Due to the challenges of working in the automotive industry, which requires qualified human resources with technical skills specialization, productive practitioners. To answer these challenges, it is required to improve the quality of students both in theory and practice. In the automotive world which is widely used as transportation, one of them is motorbikes. In terms of the shape of the motorcycle, it consists of several parts besides the engine as the main power that can move the wheel rim through the transmission system.

In motorized vehicles, especially motorcycles, sometimes there are lots of problems with the wheel rim if they have an accident, or get hit by a pothole that causes the wheel rim to be dented. The situation gets worse when using

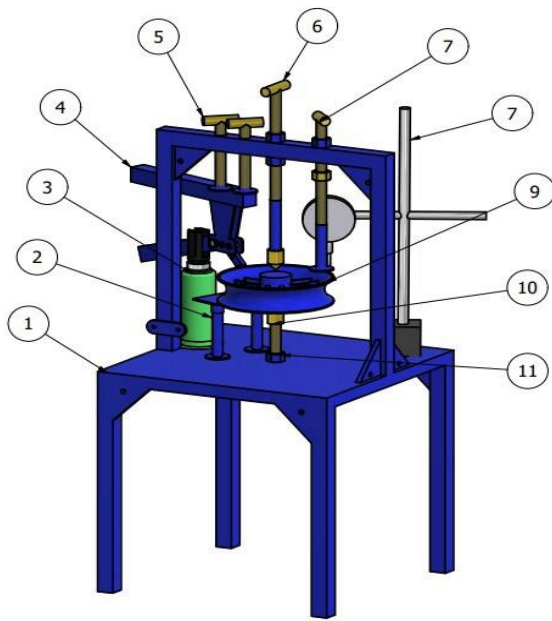
CW (casting wheel rim) type wheel rim with tubeless tires where the air inside the tires will come out through the dented or damaged wheel rim. Meanwhile, if you use tube tires with less severe damage, the vehicle can still be used but will usually feel wobbly or uncomfortable [2]. Several motorcycle repairs shops in East Denpasar City use a simple wheel rim press, and one of the workshops as a reference in the design of this wheel rim press is the David Jaya Motor workshop, which is located at Jalan Gatot Subroto Timur No. 173, East Denpasar.

2. Method dan Materials

2.1. Research Description

This research is divided into three parts, namely the design, analysis and design of a motorcycle wheel rim press tool. The form of the planned design is as shown in Figure 1. While Figure 2 is a reference for the shape and model of the wheel rim adjustment in this study. The picture is a wheel rim adjustment tool that is in the David Jaya Motor workshop located at Jalan Gatot Subroto Timur No. 173, East Denpasar, where the shape of the tool is very simple with the process of repairing motorcycle wheel rim here is still done manually, namely by being hit with a hammer and covered with wood and then heated using a blender fire (LPG and O₂) to change the shape of the dented wheel rim.

This method requires a lot of energy to hit the dented part of the wheel rim, but this method is less effective.



Descriptions:

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1. Frame | 6. Handle upper wheel rim |
| 2. Wheel rim mount | 7. Wheel rim holder |
| 3. Hydraulic jack | 8. Dial gauge |
| 4. Lever handle | 9. Motorcycle wheel rim |
| 5. Lever grip retainer | 10. Handle bottom wheel rim |
| | 11. Lock nut |

Figure 1. Picture of the planned design [3]



Figure 2. Manual wheel rim adjustment

2.2 Materials

Machine building designs are generally made of metal or metal alloys such as steel, aluminium, cast iron, zinc, titanium or bronze. The properties of these materials are strength, elasticity and ductility to metals. Other material properties are usually determined from a tensile test in which a sample of material, usually circular or flat rods, is clamped between clamps and pulled gently until they break. The magnitude of the force on the bar and the change in length (strain) are monitored and recorded continuously throughout the test. Since the stress in the rod is equal to the force acting on the rod divided by the area, the stress is proportional to the force acting on the rod.[4]

In selecting materials, the things that must be considered for a tool design are:

1. **Hardness**, is the resistance of a material to indentation by a penetrator, which is an indication of its hardness. Several types of tools, procedures, and penetrators for measuring hardness are the Brinell hardness tester and the Rockwell hardness tester most commonly used for machine elements.
2. **Strength**, the ability of the material to withstand stress without damage. Or the ability of a material to accept a load, the greater the load that can be received by the material, the object can be said to have high strength.
3. **Brittleness**, refers to the nature of metal that is easy to crack or break when subjected to a blow to it.

Materials used to support other components in the design of a tool include carbon steel (Carbon steel), alloy steel (Alloy Steel), hollow steel, U iron, axle iron, angle iron, plate iron and in general there are several classes of iron, including JIS G3101 SS400, ASTM A 36; BS 4360 ; DIN 17 100JIS G 3101 ; JIS 3106 ;SNI 07 2054, which has different maximum tensile strength or stress, for example the standard St.42 strength = 41.41 N/mm² St.42 Hardening strength=21.86 N/mm² and St.42 Annealing strength= 16.89 N/mm² [5].

2.3. Types of Wheel Rims

The types of wheel rim that we usually encounter on the market are as follows [6]:

1. Spoke wheel rim. The spoke wheel rims on the motorbike are made of iron metal but the outside is re-coated with chrome so it is not easy to rust.



Figure 3. Spoke wheel rim

2. Cast Wheel rim (CW). This one wheel rim is more familiar with racing wheel rims. Cast Wheel rim (CW wheel rims) are also known to be practical, suitable for tubeless tires.



Figure 4. Cast wheel rim

3. Aluminum wheel rim, judging from the name of course, it can be ascertained that these wheel rims are made of aluminum, the weight is lighter than the two types of wheel rims above.



Figure 5. Aluminium wheel rim

2.4. Calculation

The thing that needs to be considered in a design is quality. To support the results of this design, the strength of each component is needed. Before carrying out the manufacture or production of the designed tool, the following calculations must be carried out: [4,5].

2.4.1. Lever Calculation

In the process of making this motorcycle wheel rim press tool, one of the most important things to calculate is [5].

$$W \times L_b = F \times L_k \quad (1)$$

Description:

W = Load (N)

F = Effort (N)

L_b = Load arm (m)

L_k = Effort arm (m)

2.4.2. Shaft

In this case the shaft is designed based solely on strength. If the shaft to be designed does not receive loads other than torsion, bending, tension, or pressure, for example if a belt, chain, or gear is attached to the shaft, then the possibility of additional loading needs to be taken into account in the factor of safety [4,5], calculation used in the design of the shaft is as follows.

Calculating plan power

$$P_d = P \text{ (kW)} \quad (2)$$

Description:

P_d = Plan power (Kw)

f_c = Correction factor

P = Nominal power (Watt)

Calculating the torsional moment or torque on the shaft

$$T = 9.74 \times 10^5 P_d / n_1 \quad (3)$$

Description:

T = Torsion moment (N x m)

P_d = Plan power (Kw)

n_1 = Number of revolutions on the shaft (rpm)

Calculating the allowable shear stress

$$r_a = r_b / (Sf_1 \times Sf_2) \quad (4)$$

Description:

r_b = Tensile strength of shaft material (kg/mm²)

Sf_1 = 5.6 for ST type steel and 6.0 for S-C type steel

Sf_2 = Influence factor (1,3 – 3,0)

Calculating shaft diameter

$$d_s = \left[\frac{5.1}{\tau_a} K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{1/3} \quad (5)$$

Description :

d_s = Shaft diameter (mm)

K_t = Torsional moment correction factor (1,0 – 1,5)

C_b = Correction factor due to bending load (1,2- 2,3)

τ_a = Allowable shear stress (kg/mm²)

Weld strength calculation

In another sense, welding is the joining of two similar or dissimilar metals by heating (melting) the metal below or above its melting point, with or without pressure and with or without filler metal [7].

Weld strength formula:

$$r = \frac{F}{0.7A} X \sqrt{1 + \left[\frac{6H}{L} \right]^2} \quad (6)$$

Description:

F = Effort (N)

r = Total tension (N/mm²)

H = Plate height (mm)

A = Cross-sectional area ($A = 2.a.L$)

a = Welding clamp

L = Welding length

2.4.3. Selection of hydraulic jack

This tool is made by applying Pascal's law. namely the laws of physics that relate to liquids and the forces acting on them. Pascal's law reads, "Pressure is applied to a liquid in a container will be transmitted in all directions and the same magnitude." This law is then applied to the workings of a hydraulic jack. This tool uses the force of water or fluid pressure to be able to lift heavy vehicle loads up to a matter of tons [8]

Pascal's law formulas:

$$\frac{P_1}{A_1} = \frac{P_2}{A_2} \quad (7)$$

Descriptions:

F_1 = Force 1 (N)

F_2 = Force 2 (N)

A_1 = Cross-sectional area 1 (M²)

A_2 = Cross-sectional area 2 (M²)

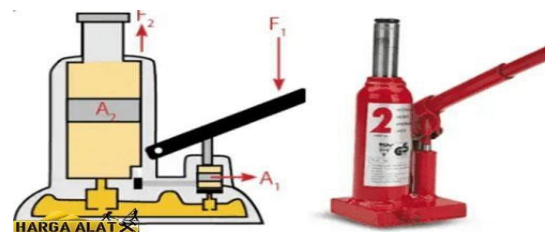


Figure 6. Hydraulic bottle jack

2.4.4. Heater

A pressing tool requires a heating device to help flex the dented part of the wheel rim. Gas torch as a heater for press wheel rim because this gas torch is very easy to use and very easy to get on the market, storage is also very easy. Gas torch is a handheld burner model that is used when doing

outdoor activities, such as lighters commonly used when camping, cooking, and welding, gas torches can reach temperatures of 1300 °C to 2000 °C [8].



Figure 7. Gas torch

3. Result and Discussion

3.1. Product

In realizing the design of this wheel rim press tool, supporting instruments are needed in the working process with the following equipment:

1. Machine Tools

- Welding machine, used to join metal in the manufacture of frames.
- Lathe, used to make shafts.
- Sitting grinders, used for cutting materials such as metal for frames and shafts.
- Hand grinders are used for cutting materials and smoothing welded parts.
- Drilling machine, used to make holes in the frame as a housing for bearing locking bolts, electric motors on the frame.

2. Several types of measuring instruments such as callipers to measure the diameter of the shaft, steel ruler, which is used to measure length, right angles are used to determine the perpendicular of the object being measured as in the frame.
3. Compressor, used to spray compressed air in the painting process so that the painting can be evenly and efficiently.

3.2. Instruments

In this analysis, instruments or tools are needed that support the process of collecting analytical data with the preparation of materials to obtain analytical data on test results, namely:

- Dial gauge
Dial gauge is used to measure the flatness of the wheel rim
- Steel ruler
A steel ruler is used to measure the length and width, the overall height of the tool.
- Vernier callipers
The calliper is used to measure the outer diameter and depth of the material.
- Measuring tools
The measuring tool is used to measure the total dimensions of the motorcycle wheel rim press tool.
- Elbow
The elbows are used to measure the angle and as a tool for assembling a motorcycle wheel rim press tool.

3.3. Wheel Rim Press Tool Design

The manufacture of this tool has taken into account several construction criteria, namely easy to manufacture, economical, aesthetic and efficient, so that the resulting motorcycle wheel rim press tool is as follows:



Figure 8. Motorcycle wheel rim press tool

Specification:

1. This tool can be used to adjust ring wheel rim 12 inches, 14 inches, 17 inches, 18 inches,
2. Jack strength 6 tons
3. Tool height 150 cm
4. Tool width 75 cm

This motorcycle wheel rim press tool uses a hydraulic bottle jack as a tool to press with the help of a lever. How to use this wheel rim press tool, first we put the wheel rim on the cone at the bottom then we lower the top cone to clamp the wheel rim, then we adjust the dial gauge, rotate the wheel rim until we find the bent part, if we already know the bent part we mark and put it right at the end of the lever, then we attach the support to the top of the wheel rim, then we attach the wheel rim mat to adjust to the height of the wheel rim, so that later when pressing the wheel rim it doesn't shake and must be precise. If the wheel rim is installed, we heat the part of the wheel rim that will be pressed using fire from the gas can just enough, after it is heated, we pump the jack slowly until it lifts the lever and the end of the lever presses the bent part of the wheel rim, until it finds flatness, if we remove the mat, we also remove the wheel rim and supports, then fit the dial gauge on the bent wheel rim, then turn them around until there are no more bends. In the process of making this motorcycle wheel rim press tool, it consists of several parts, namely:

3.3.1. Frame

This frame is made with hollow iron measuring 7 cm x 5 cm x 2 mm, for the legs it has a length of 75 cm while for the table it uses hollow iron with a size of 4 cm x 4 cm x mm with a length of 75 cm and the plate used has a thickness 6 mm, this frame is square

3.3.2. Wheel rim mount

This wheel rim holder is made with iron threads with a size of 1 inch with a height of 15 cm, and the plate is 35 cm x 15 cm, this wheel rim holder is made so that it can go up and down following the height of the wheel rim to be pressed.

3.3.3. Hydraulic jack

This hydraulic jack is able to withstand a load of 6 tons, this jack has a major role in the design of this tool, because this jack pushes the lever so that the tip of the lever presses the bent lip of the wheel rim.

3.3.4. Lever handle

The handle of this lever is made with iron 'U' which is added to the iron strip plate to make it square, with a thickness of 3 mm, because this section must use thick iron.

3.3.5. Lever grip retainer

This part is made to hold the lever handle when pressing so it doesn't shake, this tool has a length of 20 cm with a diameter of 1 inch.

3.3.6. Handle the upper wheel rim

The handle of this wheel rim is made of axle iron which is made of thread (thread) so that it can go up and down following the height of the wheel rim, this tool has a length of 45 cm and this tool is attached to a cone so that it can be stuck in the hole of the wheel rim.

3.3.7. Wheel rim holder

This wheel rim holder is also made of axle iron with a thread (thread) and has a length of 40 cm, this tool has the function of holding the pressed wheel rim part so that it does not move.

3.3.8. Dial gauge and wheel rim

This dial gauge has a function as a measuring tool for the bend of the wheel rim, this tool can be moved according to the part of the wheel rim that is bent. Wheel rims that can be repaired with this tool are 12-inch, 14-inch, 17-inch, 18-inch alloy wheel rims. The handle of this wheel rim is made of axle iron which is made of thread (thread) so that it can go up and down following the height of the wheel rim, this tool has a length of 30 cm and this tool is attached to a cone so that it can be stuck in the hole of the wheel rim. The nut used is made of steel, with an inner diameter of 1 inch, this nut has a function as a shaft lock while holding the wheel rim

3.4. Using the Tool

How to use the design of this motorcycle wheel rim press tool is as follow:

1. Install the wheel rim that will be pressed on the bottom cone then tighten the middle lever until the cone presses the wheel rim.

2. Then turn the wheel rim until you find the part of the wheel rim that is wobbly, if it is found, give a mark.
3. Place the pressed part of the wheel rim on the end of the pressing lever.
4. Install the support at the bottom and adjust the height.
5. Install the wheel rim holder on the side of the wheel rim
6. Heat the wheel rim to be pressed (bent).
7. When it is hot, pump the hydraulic jack lever to the end of the pressing lever and press the bent part of the wheel rim until it finds flatness.

3.5. Tool Testing

After the tool components have been assembled, then the tool testing is carried out to determine the capabilities of the designed tool. The test was carried out 3 times with different positions or parts of the wheel rims in each test. The following are the results of the tests that have been carried out. The test results on the motorcycle wheel rim press tool can be seen in the image below:



Figure 9. The First Trial Process

The first test was carried out specifically on the lip of the wheel rim which was bent inward. After being measured using a dial gauge, the bend of the wheel rims reaches 1.6 mm. Figure 9 shows some of the processes of repairing wheel rims with the designed tools. First we look for the rim that is bent using a dial gauge, if we find it, we install it on the tool and we adjust the position of the wheel rim then we heat it and pump it slowly until we find flatness and finally we check again with the dial gauge, until the dial gauge doesn't move. Cases like this using a tool that was made took 35 minutes.

The second test was carried out with the case of the bent wheel rim radius. After being measured using a dial gauge, the bend of the radius of the wheel rim reaches 0.8 mm. As Figure 10 shows some of the wheel rim repair processes with the designed tool, first we look for the bent wheel rim section using a dial gauge, if we find it we install it on the tool and we adjust the position of the wheel rim then we heat it up and pump it slowly until we find flatness, and lastly we check again with the dial gauge, until the dial gauge does not move. Cases like this using a tool that was made took 40 minutes.



Figure 10. The second trial process

The third test was carried out with the case of the lip of the wheel rim bent outward. After being measured using a dial gauge, the bend of the wheel rim reached 0.7 mm. Figure 11 shows some of the wheel repair processes with the designed tools. First we find the part of the wheel rim that is bent using a dial gauge, if we find it we install it on the tool and we adjust the position of the wheel then we heat it up and pump it slowly until we find flatness, and finally we check again with the dial gauge, until the dial gauge doesn't move. Cases like this using a tool that was made took 25 minutes.



Figure 11. The Third Trial Process

4. Conclusion

To obtain truly satisfactory results from a tool, we are required to observe and look for alternatives and as carefully as possible in order to achieve a result that meets the standard. The criteria for a good machine are to have high efficiency, easy to operate, and uphold work safety. From the results of the design and design testing, this motorcycle wheel rim press tool is more efficient, fast, precise and the time it takes is faster according to the test results, which is between 25 minutes to 40 minutes with different wheel damage cases compared to the other motorcycle wheel rim press tool in the David Jaya Motor workshop which is used manually and takes a minimum of 90 minutes.

Acknowledgment

The authors would like to thank the publication team of the Center for Research and Community Service (P3M), Department of Mechanical Engineering, Bali State Polytechnic, David Jaya Motor Workshop located at Jalan Gatot Subroto Timur No. 173, East Denpasar, and colleagues for their support in completing this paper.

References

- [1] R. Ginting, “*Perancangan elemen Mesin*”, ALFABETA, Bandung, 2010.
- [2] G. Rosnani, “*Perancangan Produk*”, Graha Ilmu, Edisi 10, Yogyakarta, Indonesia, 2010.
- [3] Y.F. Huda, “*Mahir Menggunakan Autodesk Inventor Pro 2013 untuk Menggambar Mesin 3D*”, ANDI Yogyakarta, 2013.
- [4] Sularso dan K. Suga, “*Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*”, PT Pradnya Paramitha. Jakarta, 2004.
- [5] L.M. Robert, “*Elemen-elemen mesin dalam perancangan mekanis*”, Edisi 4, Penerbit Andi, Yogyakarta-Indonesia, 2004.
- [6] Jenis-jenis wheel rim.2018 <https://inspirasi.id/jenis-wheel-rim-sepeda-motor/>Diakses tanggal 25 Januari 2021.
- [7] Z. Achmad, “*Elemen Mesin I*”, PT. Refika Aditama. Bandung, 2006.
- [8] Gas torch. 2020 <https://my-best.id/136365>.Diakses tanggal 3 Februari 2021



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

Penentuan ukuran pipa kapiler dengan program aplikasi CapSel Versi 1.0 pada AC trainer unit jenis ekspansi langsung dengan R-410A

I Dewa Made Susila^{1*}, I Wayan Adi Subagia¹ dan I Made Rasta²

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

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

*Email: dewamadesusila@pnb.ac.id

Abstrak

Penggunaan mesin pengkondisian udara saat ini paling banyak menggunakan siklus kompresi uap. Salah satu mesin pengkondisian udara tersebut adalah AC jenis ekspansi langsung. Pada AC jenis ini udara langsung didinginkan oleh refrigeran. Udara dingin dialirkan melalui saluran udara untuk dimasukkan ke dalam ruangan yang akan didinginkan. Refrigeran yang digunakan adalah R-410A yang tidak mengandung unsur khlor sehingga tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon karena mempunyai ODP = 0. Trainer unit jenis ekspansi langsung ini menggunakan alat ekspansi berupa pipa kapiler dan TXV jenis external equalizer. Untuk menentukan ukuran pipa kapiler pada pada trainer unit jenis ekspansi langsung menggunakan program aplikasi CapSel versi 1.0. Dengan menggunakan data-data input jenis refrigeran R-134A, kapasitas refrigerasi 2.637,6 Watt (9000 BTU/jam), temperatur evaporasi 5 °C, temperatur kondensasi 47 °C, dan temperatur gas balik 12 °C, diperoleh data ukuran pipa kapiler yang disarankan yaitu panjang pipa kapiler 1,47 m dengan diameter dalam 2,50 mm. Pengujian dilakukan dengan memvariasi kecepatan udara yang keluar saluran udara pada posisi high speed (22,3 ft/s) dan pada low speed (7,9 ft/s). Data temperatur dan tekanan refrigeran diukur pada 4 titik pengukuran serta pengukuran arus listrik yang masuk ke sistem. Setelah dilakukan pengolahan data dan dimasukkan ke program aplikasi Coolpack, maka didapatkan COP dan EER rata-rata pada posisi low speed menghasilkan harga yang lebih besar dibandingkan pada posisi high speed.

Kata kunci: AC jenis ekspansi langsung, pipa kapiler, R410a, performansi, EER

Abstract: The use of air conditioning system currently mostly uses the vapor compression cycle. One such air conditioning machine is a direct expansion type AC. In this type of air conditioner, the air is directly cooled by the refrigerant. Cold air is flowed through the air duct to be entered into the room to be cooled. The refrigerant used is R-410A which does not contain chlorine so it does not cause depletion of the ozone layer because it has an ODP = 0. This direct expansion unit trainer uses an expansion device in the form of a capillary tube and an external equalizer type TXV. To determine the size of the capillary tube on the trainer unit, the direct expansion type uses the CapSel version 1.0 application program. By using the input data for refrigerant type R-134A, refrigeration capacity 2,637.6 Watt (9000 BTU/hour), evaporation temperature 5 °C condensation temperature 47 °C, and return gas temperature 12 °C, the recommended capillary pipe size data is obtained, namely the length of the pipe. capillary 1.47 m with an inner diameter of 2.50 mm. The test was carried out by varying the velocity of the air leaving the airways at high speed (22.3 ft/s) and at low speed (7.9 ft/s). The refrigerant temperature and pressure data are measured at 4 measurement points and the measurement of the electric current entering the system. After processing the data and entering it into the Coolpack application program, the average COP and EER in the low speed position produce a higher price than the high speed position.

Keywords: direct expansion type AC, capillary tube, R410a, performance, EER

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Tujuan penggunaan AC (*Air Conditioner*) adalah untuk memperoleh udara nyaman dari suatu ruangan sesuai dengan yang dipersyaratkan. Faktor kenyamanan suatu ruangan sangat penting untuk meningkatkan produktifitas kerja dan juga untuk menjaga kesehatan ruangan. AC saat ini sudah menjadi kebutuhan untuk rumah tangga,

perkantoran, super market, hotel dll. Prinsip kerja AC secara konvensional menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap dimana komponen utamanya adalah kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator. Fluida kerja yang digunakan pada siklus refrigerasi kompresi uap disebut bahan pendingin (refrigeran) yang berfungsi menyerap kalor pada temperatur rendah (di evaporator) dan melepaskan kalornya pada temperatur tinggi (di kondensor).

Penggunaan refrigeran R-22 pada AC selama ini tentu saja mendatangkan potensi penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Hal ini mendapat perhatian besar bagi kalangan peneliti internasional sehingga lahir perjanjian internasional yang disebut Protokol Montreal tahun 1987. Selanjutnya pada protokol Kyoto yang mengatur pembatasan dan pengurangan gas-gas penyebab rumah kaca (*green house effect*). Di Indonesia sendiri penggunaan R-22 dibatasi penggunaannya sampai tahun 2030.

Salah satu jenis refrigeran pengganti R-22 yang saat ini sudah digunakan pada sistem AC adalah R-410A. Refrigeran ini secara spesifik cenderung untuk penggunaan pada AC yang baru. Dibandingkan dengan R-22, R-410A mempunyai tekanan operasi yang lebih tinggi (kira-kira 50% lebih tinggi pada kedua sisi *discharge* dan sisi *suction*) [1]. R-410A adalah suatu campuran azeotropic dari HFC-32 dan HFC-125. Refrigeran R-410A dikembangkan sebagai pengganti jangka panjang untuk R-22 baik untuk peralatan pengkondisian udara maupun peralatan pendingin yang baru. R-22 adalah refrigeran dari kelompok hydrochlorofluorocarbon (HCFC) yang berarti masih mengandung chlorine yang dapat merusak lapisan ozon. Sedangkan R-410A termasuk golongan hydrofluorocarbon (HFC) yang tidak mengandung *chlorine* sehingga *ozone depletion potential* (ODP) nya adalah nol.

Pipa kapiler adalah salah satu jenis alat ekspansi pada siklus refrigerasi kompresi uap. Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran dari sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan rendah dan juga mengatur jumlah laju aliran refrigeran sesuai dengan perubahan beban di evaporator. Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga yang diameternya sangat kecil. Pipa kapiler digunakan pada sistem AC maupun sistem refrigerasi yang mempunyai kapasitas pendinginan relatif rendah. Ukuran pipa kapiler baik panjang maupun diameternya sangat berpengaruh terhadap tekanan operasi sistem. Oleh karena itu menentukan ukuran pipa kapiler haruslah tepat agar didapatkan kinerja sistem sesuai dengan yang diharapkan.

Geometrik pipa kapiler seperti panjang, diameter, *pith* koil berpengaruh terhadap penurunan tekanan, COP, dan laju aliran massa refrigeran [2]. Ada beberapa cara untuk menentukan ukuran pipa kapiler, salah satunya adalah menggunakan program aplikasi *CapSel Versi 1.0*, *Data base 22*, yang akan digunakan pada penelitian pada *AC Trainer Unit* jenis ekspansi langsung dengan refrigeran R-410A. Kemudian akan di analisis koefisien performansi dan konsumsi energinya.

Penelitian juga dilakukan untuk mengetahui perbandingan performansi antara R-410a dan R-32 pada AC split dengan kapasitas 1 PK. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa COP Carnot dan COP aktual R-410a lebih tinggi dibandingkan dengan R-32 [3], [4]. Penggunaan refrigeran berbasis R-290 [5]-[7], refrigeran R-32 [8] dan R-410A [9] akhir-akhir ini mulai diperkenalkan sebagai fluida kerja pada instalasi pendingin. R-410A memiliki kapasitas perbandingan volumetrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan R-22 dan memiliki sifat pertukaran panas yang lebih baik. Hal ini menyebabkan peningkatan kinerja secara keseluruhan dalam hal efisiensi sistem [10].

1.2. Sifat-sifat Fisik R-410A

R-410A adalah campuran zeotrofik dari HFC-32 dan HFC-125 dengan rasio berat 50%/50%. Sebagai suatu refrigeran

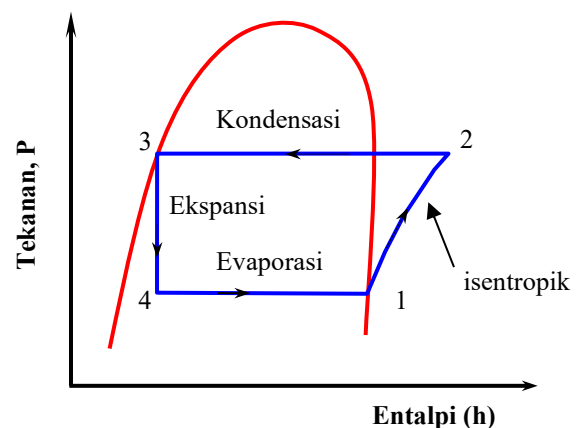
HFC, R-410A memerlukan penggunaan minyak pelumas polyester. R410A merupakan refrigeran yang mempunyai sifat tidak mudah terbakar (*non-flammable*) dan tidak beracun (*non-toxic*). Tetapi perbedaan yang paling besar dengan R-22 adalah batas tekanan yang dibangkitkan lebih dari 50% lebih tinggi [11]. Meskipun tekanan operasinya R-410A secara signifikan lebih tinggi dari R-22, sistem R-410A secara aktual berjalan dengan lebih dingin bila dibandingkan dengan sistem R-22. Hal ini terjadi karena kapasitas panas uap refrigeran R-410A lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas panas uap refrigeran R-22.

Tabel 1. Perbandingan sifat-sifat R22 dan R410A [11]

Sifat-sifat	Unit	R-22	R-410A
Komponen	-	CHClF ₂	R32/R125
Komposisi	%berat	-	50/50
Berat molekuler	g/mol	86,5	72,6
Temperatur gelembung (<i>bubble</i>) (pada 1,013 bar)	°C	-40,7	-52,2
Temperatur <i>glide</i> (pada 1,013 bar)	K	0	0.1
Kerapatan cairan (pada 25°C)	Kg/dm ³	1,194	1,0615
Kerapatan uap jenuh (pada titik didih)	Kg/m ³	4,70	4,12
Tekanan uap pada:	25°C	10,4	16,4
	50°C	19,4	30,5
Temperatur kritis	°C	96	72,2
Tekanan kritis	bar	49,8	49,5
Kerapatan kritis	Kg/dm ³	0,525	0,491
<i>Ozone Depleting Potential</i> (ODP)	-	0,055	0

1.3. Performansi Mesin Pengkondisian Udara

Parameter-parameter prestasi mesin pengkondisian udara dengan siklus refrigerasi kompresi uap, antara lain: kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, efek refrigerasi dan koefisien performansi (*coefficient of performance*, COP).



Gambar 1 Diagram tekanan-entalpi siklus refrigerasi kompresi uap standar

1.3.1. Kerja Kompresi (W_k)

Kerja kompresi merupakan kerja yang dibutuhkan untuk mengkompresi refrigeran di kompresor. Dari Gambar 1 di atas, kerja kompresi dinyatakan pada proses 1-2. Jadi besarnya kerja kompresi secara matematis dapat dinyatakan dengan selisih entalpi refrigeran keluar kompresor dikurangi entalpi refrigeran masuk kompresor.

$$W_k = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1)$$

Dimana :

h_1 dan h_2 = masing-masing entalpi gas refrigeran yang masuk dan keluar dari kompresor (kJ/kg).

1.3.2 Kalor yang dibuang di kondensor (Q_k)

Kalor yang dibuang oleh refrigeran melalui kondensor ke lingkungan yang lebih rendah temperaturnya terjadi pada proses 2-3, yaitu:

$$Q_k = h_2 - h_3 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2)$$

Dimana : h_2 dan h_3 masing-masing entalpi refrigeran masuk dan keluar kondenser (kJ/kg)

Pada proses 3-4 merupakan proses ekspansi refrigeran menuju tekanan evaporator. Pada proses ini biasanya dimodelkan dengan proses cekik tanpa adanya perpindahan kalor (adiabatik) dan proses berlangsung tak-reversibel, sehingga diperoleh hubungan: $h_3 = h_4$

1.3.3. Efek refrigerasi (ER)

Efek refrigerasi (ER) adalah kalor yang diserap oleh refrigeran dari lingkungan melalui evaporator per satuan massa refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dari suatu sistem refrigerasi. Secara matematis, efek refrigerasi dapat dinyatakan dengan:

$$ER = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3)$$

Dimana : h_1 dan h_4 = masing-masing entalpi refrigeran keluar dan masuk evaporator (kJ/kg)

1.3.4. Koefisien Performansi (COP)

Koefisien performansi, COP adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem, yaitu kerja kompresi. Secara matematis, COP dinyatakan dengan rumusan:

$$COP = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresi}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

1.3.5 Energy Efficiency Ratio (EER)

Parameter yang juga penting pada sistem AC yang merupakan spesifikasi teknis dan dicantumkan pada *plat name* suatu produk AC adalah EER, yaitu merupakan perbandingan antara kapasitas refrigerasi (dalam BT/jam) dengan daya masukan total (dalam Watt). Secara matematis ditulis:

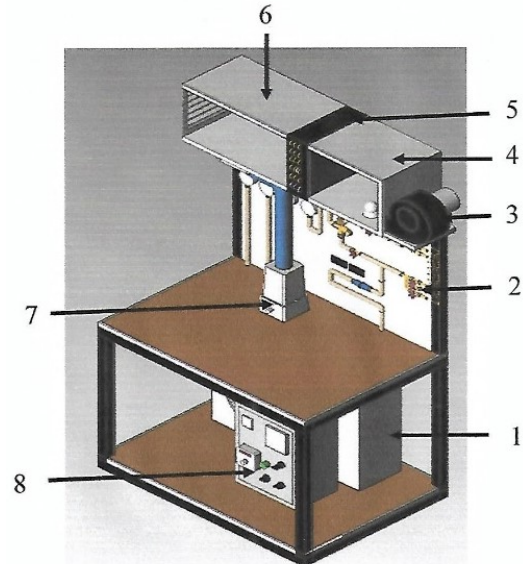
$$EER = \frac{\text{kapasitas refrigerasi (BTU/jam)}}{\text{daya masukan total (Watt)}} \quad (5)$$

Semakin tinggi nilai EER, maka semakin efisien penggunaan energi dari suatu sistem pengkondisian udara (AC).

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan metode *Research and Developmnet* (R & D) yaitu dengan mengembangkan trainer unit AC jenis ekspansi langsung. Trainer unit dirancang dengan menggunakan indoor AC Split dengan kapasitas refrigerasi 900 BTU/Jam (Gambar 2).

Evaporator dan *ducting system* dihitung dengan pendekatan perpindahan panas. Sedangkan alat ekspansi berupa pipa kapiler dihitung dengan menggunakan program aplikasi CapSel versi 1.0.



Keterangan gambar:

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1. Condensing unit | 5. Evaporator |
| 2. Pipa kapiler | 6. Supply duct |
| 3. Blower | 7. Dehumidifier |
| 4. Return duct | 8. Panel kontrol |

Gambar 2. Rancangan AC Trainer Unit jenis Ekspansi Langsung

Trainer unit ini juga dilengkapi dengan katup ekspansi jenis thermostatis dengan penyama tekanan dalam (*internal equalizer TXV*).

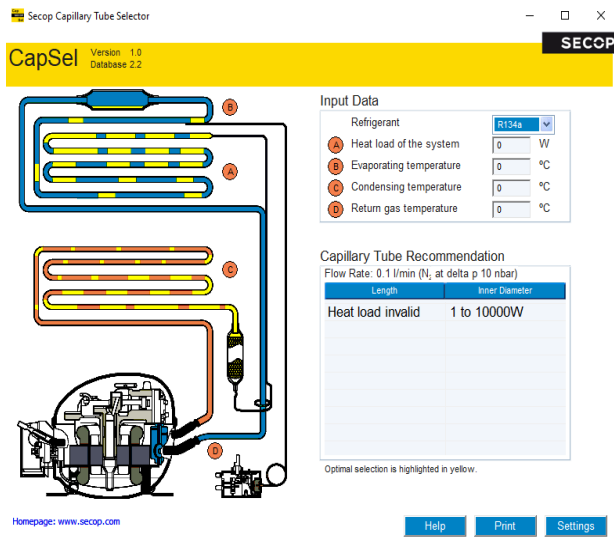
Untuk pengambilan data, *trainer unit* ini dilengkapi *pressure gauge* dan *temperature display* pada 4 titik pengukuran untuk refrigeran dan 2 *temperatur display* pada sisi *return* dan *supply ducts*. Pada panel kontrol dilengkapi tombol ON-OFF, lampu kontrol, Volt meter, dan Amper meter.

2.1. Program Aplikasi CapSel Versi 1.0

Untuk menentukan ukuran pipa kapiler yang akan digunakan pada AC *trainer unit* jenis ekspansi langsung, digunakan program aplikasi CapSel 1.0 dengan data-data input meliputi jenis refrigeran, kapasitas refrigerasi, temperatur evaporasi, temperatur kondensasi dan temperatur gas balik (*return gas temperature*) (Gambar 3).

Penggunaan program aplikasi CapSel versi 1.0 sangat sederhana. Dengan meng-inputkan data-data seperti tersebut di atas, maka akan ditampilkan ukuran-ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan. Ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan yang ditandai warna kuning merupakan pilihan optimal dari ukuran pipa kapiler. Apabila ukuran

pipa kapiler yang ditandai berwarna kuning tidak tersedia dipasaran, maka dapat memilih salah satu ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan tadi.



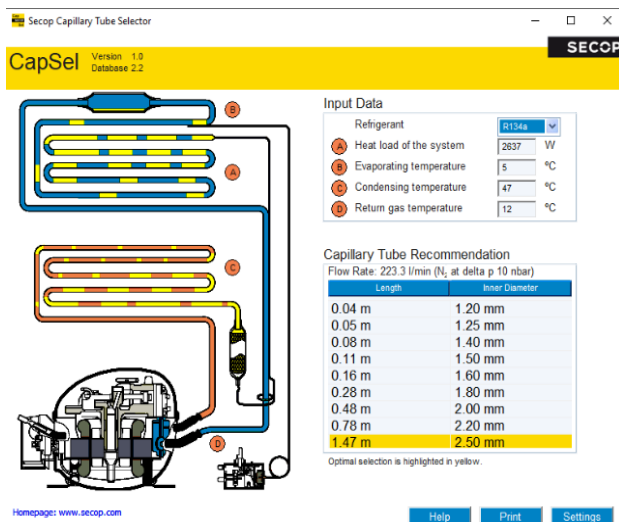
Gambar 3. Program aplikasi CapSel versi 1.0

3. Hasil dan Pembahasan

Data rancangan yang akan di-input-kan pada program aplikasi CapSel versi 1.0 adalah sebagai berikut:

- Jenis refrigeran : R-134A
- Kapasitas refrigerasi : 2.637,6W
- Temperatur evaporasi : 5 °C
- Temperatur kondensasi : 47 °C
- Temperatur gas balik : 12 °C

Selanjutnya dengan meng-input-kan data-data tersebut di atas, maka didapatkan ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan yang ditandai warna kuning adalah panjang 1,47 meter dengan diameter dalam (*inside diameter*, ID) 2,50 mm.



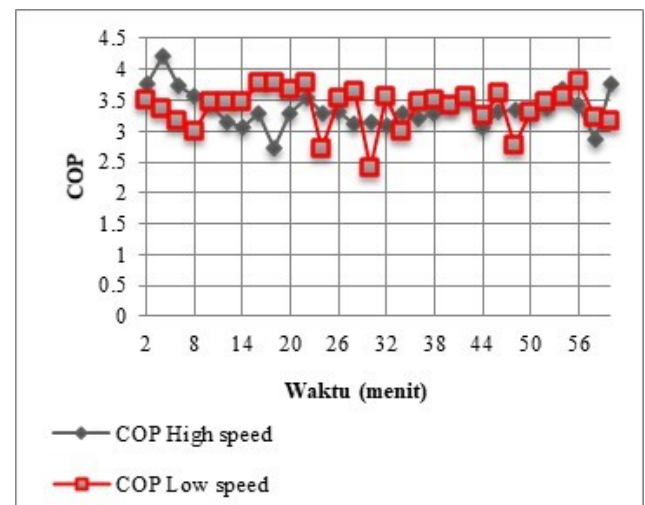
Gambar 4. Ukuran pipa kapiler pada CapSel versi 1.0

Setelah pipa kapiler dipasang pada *trainer unit* dengan menggunakan sistim sambungan nipel dan dilengkapi dengan stop valve, maka dilakukan pengetesan kebocoran, memvacum dan mengisi refrigeran sistem sesuai dengan tekanan kerjanya. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa

beban dengan variasi kecepatan blower pada posisi *High Speed* (22,3ft/s) dan posisi *Low Speed* (7,9 ft/s). Dari data-data tekanan dan temperatur refrigeran hasil pengujian pada *trainer unit*, maka setelah dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data rata-rata hasil pengujian yang akan dimasukkan ke program aplikasi *Coolpack* untuk mendapatkan performansi dari AC *trainer unit* tersebut.

3.1. Grafik Waktu Terhadap COP

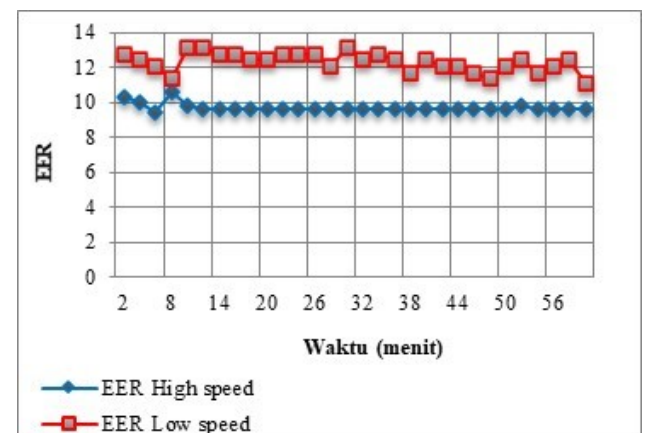
Dari grafik Gambar 5 di bawah dapat dijelaskan bahwa kecepatan blower pada *high speed* mempunyai COP yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan blower pada posisi *low speed*. Pada posisi kecepatan *blower high speed*, rata-rata COP-nya adalah 3,35 sedangkan pada posisi kecepatan blower *low speed*, rata-rata COP-nya 3,38.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu dengan COP

3.2. Grafik Waktu Terhadap Energy Efficiency Ratio (EER)

Dari grafik pada Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa pada kecepatan blower diset pada *low speed* (7,9 ft/s) menghasilkan *EER* lebih besar yaitu 12,3, sedangkan pada posisi kecepatan *high speed* (22,3 ft/s) menghasilkan *EER* = 9,7. Hal ini disebabkan karena pada putaran blower yang lebih tinggi akan menghasilkan kecepatan aliran udara dingin yang lebih tinggi. Putaran blower yang lebih tinggi akan membutuhkan daya listrik yang juga lebih tinggi, sehingga secara keseluruhan daya masukan total (*total input power*) akan lebih besar.



Gambar 6. Grafik hubungan waktu dengan EER

4. Kesimpulan

Refrigeran R-410A merupakan salah satu refrigeran yang digunakan sebagai pengganti dari R-22. Meskipun tekanan kerjanya lebih tinggi dari R-22, akan tetapi R-410A mempunyai kelebihan yaitu lebih ramah lingkungan. Saat ini sudah banyak merk AC khususnya *AC Split* yang menggunakan R-410A. Dari penelitian yang dilakukan pada trainer unit jenis ekspansi langsung didapatkan COP dan EER rata-rata mempunyai harga yang lebih tinggi pada kecepatan udara yang keluar saluran udara di-set pada posisi *low speed* dibandingkan pada posisi *high speed*.

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] F. Prah, "Refrigerant 410A", Refrigeration Service Engineers Society, RSES, 1666 Rand Road Des Plaines, Illinois 60016.
- [2] S.S. Pathak, P. Shukla, S. Chauhan, A.K. Srivastava, "An Experimental Study of the Effect of Capillary Tube Diameter and Configuration on the Performance of a Simple Vapour Compression Refrigeration System", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) 11, 2014, pp. 101-113.
- [3] Kusnandar, Y. Kurniawan, B. Khoerun, Y.M. Rohmat, "Perbandingan COP AC Split Kapasitas 1 PK Menggunakan R-410a dan R-32 Dengan Variasi Kecepatan Fan Evaporator", Turbulen: Jurnal Teknik Mesin, Universitas Tridini Pabelan, 2, 2019, pp. 50-55.
- [4] T. Priangkoso, N.E. Santosa, T. Apriyanto, M. Dzulfikar, "Pengaruh Jenis Refrigeran dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Kinerja AC Split", Momentum, 14, 2018, pp. 39-45.
- [5] E. Taqwali; Hasan, Syamsuri, "Analisis Performa Refrigeran R-290 Pada Sistem AC Yang Menggunakan Accumulator Heat Exchanger", Jurnal Energi Dan Manufaktur, 8, 2015.
- [6] T.P. Pramudantoro, "Pengaruh Variasi Massa Pengisian R-290 Sebagai Refrigeran Pengganti R-22 Pada Kinerja Freezer", ReTII, 2018.
- [7] S. Parashurama, C.A. Saleel, M.S. Govindgowda, and S.A. Khan, "Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8, 2019, pp. 496-501.
- [8] Kusnandar, Y. Kurniawan, N.Y. Rohmat, "Analisa Performansi Mesin Pengkondisi Udara Menggunakan Refrigerant R-32", Seminar Nasional Penelitian Pengabdian Masyarakat, Universitas Bangka Belitung, 2018, pp. 194-196.
- [9] Amrullah, Z. Djafar, W.H. Piarah, "Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran", Jurnal Teknologi Terapan, 3, 2017.
- [10] A. Adityawarman, H. Ananta, D.A. Widodo, "Trainer Pendingin Ruangan Menggunakan AC Split R32 Ramah Lingkungan Sebagai Media Pembelajaran Mata Kuliah Teknik Refrigerasi Dan Tata Udara Di Universitas Negeri Semarang", Edu Elektrika Journal, 2018.
- [11] S.S. Jadhav and K.V. Mali, "Evaluation of a Refrigerant R-410A as Substitute for R-22 in Window Air Conditioner", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, pp. 23-32.



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 termodinamik kinerja AC split: studi kasus pada bangunan pendidikan dengan menerapkan program komputer

I Wayan Adi Subagia¹, I Dewa Made Susila¹, Ketut Bangse¹ dan I Nyoman Suamir^{1*}

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

*Email: nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstrak

Paper ini menyajikan sebuah kajian termodinamik kinerja energi sistem AC split dengan R-32 untuk aplikasi bangunan pendidikan di Politeknik Negeri Bali. Kajian dilakukan dengan menggunakan program komputer mandiri U-CoolS V.1.12 yang dikembangkan pada program EES (Engineering Equation Solver) V11.334. Sebuah model termodinamik sistem AC split dikembangkan dan divalidasi menggunakan data dari spesifikasi teknis berbagai jenis AC split. Kajian termodinamik dilakukan berdasarkan variasi temperatur udara lingkungan di Daerah Bali. Pengaruh dua parameter operasional sistem AC split yaitu temperatur kondensasi di kondensor dan temperatur evaporasi refrigeran di evaporator terhadap kinerja kompresor dan kinerja energi sistem AC disimulasikan. Hasil simulasi termodinamik menunjukkan kuatnya pengaruh temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi terhadap kinerja kompresor dan kinerja energi keseluruhan sistem AC split. Ditemukan pada setiap kenaikan 1 °C temperatur kondensasi daya kompresor meningkat cukup signifikan sekitar 2,1%, kapasitas pendinginan sistem AC split menurun 1,8%, COP dan EER juga menurun sebesar 3,9%. Sedangkan pada setiap kenaikan 1 °C temperatur evaporasi ditemukan adanya peningkatan konsumsi daya kompresor sekitar 0,31%, peningkatan kapasitas pendinginan mencapai 4,4% serta peningkatan COP dan EER sebesar 4,1%. Hasil kajian termodinamik ini juga menunjukkan bahwa kinerja sistem AC split dengan menggunakan refrigeran R-32 memiliki rentang COP yang sangat baik dari 3,27 sampai 5,95 dengan implikasi bahwa refrigeran R-32 sangat potensial menjadi refrigeran untuk sistem AC split.

Kata kunci: kajian termodinamik, temperatur kondensasi, temperatur evaporasi, kinerja energi, sistem AC split

Abstract: This paper presents a thermodynamic study on energy performance of a split AC system with R-32 for the application of educational buildings at the Bali State Polytechnic. The study was conducted using a standalone computer program U-CoolS V.1.12 which was developed on the EES (Engineering Equation Solver) V11.334 program. A thermodynamic model was developed and validated using data from the technical specifications of various types of split AC. Thermodynamic studies were carried out based on variations in ambient temperature in the Bali Region. The effect of two operating parameters of a split AC system, namely the condensing temperature in the condenser and the evaporation temperature of the refrigerant in the evaporator, on the compressor performance and energy performance of the AC system is simulated. Thermodynamic simulation results show the strong influence of condensing temperature and evaporation temperature on compressor performance and overall energy performance of the split AC system. It was found that for 1 °C increase in condensing temperature, the compressor power increased quite significantly around 2.1%, the cooling capacity of the split AC system decreased by 1.8%, COP and EER also decreased by 3.9%. Meanwhile, for 1 °C increase in evaporation temperature, it was found an increase in compressor power consumption of around 0.31%, an increase in cooling capacity of 4.4% and an increase in COP and EER of 4.1%. The results of this thermodynamic study also show that the split AC system performance using R-32 refrigerant has a very good COP range from 3.27 to 5.95 with the implication that R-32 refrigerant has the potential to be a refrigerant for a split AC system.

Keywords: thermodynamic study, condensing temperature, evaporation temperature, energy performance, split AC system

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Pengkondisian udara (AC) memegang peranan yang sangat penting untuk menjaga kenyamanan termal di dalam ruangan, terutama untuk iklim panas dan lembab. Energi yang dikonsumsi oleh sistem ventilasi dan pendingin udara di iklim tropis bisa melebihi 50% dari total konsumsi energi

bangunan [1,2]. Sistem AC juga merupakan utilitas energi-signifikan terbesar dari bangunan komersial khususnya hotel. Oleh karena itu, ada potensi yang luar biasa untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem AC di hotel untuk tujuan konservasi energi gedung. Kebutuhan energi untuk AC akan meningkat pesat di abad ke-21 [3]. Suhu luar

ruangan yang lebih tinggi yang berdampak pada perubahan iklim memengaruhi energi pendinginan dalam hal suhu ruangan yang lebih tinggi dan persyaratan kenyamanan termal yang lebih ketat. Selain itu, dampak perubahan iklim dari sistem AC diperkirakan akan menyebabkan kebutuhan energi melonjak hingga 72%. Konsumen terbesar energi terkait sistem AC datang dari negara berkembang. Peningkatan besar diperkirakan terjadi di Kawasan Asia Selatan karena kebutuhan energi untuk sistem AC dapat meningkat sekitar 50% akibat perubahan iklim [4].

Untuk mengantisipasi perubahan tersebut, peningkatan efisiensi energi pada bangunan saat ini menjadi target utama kebijakan energi baik tingkat nasional maupun internasional. Di antara berbagai utilitas bangunan, terjadi peningkatan konsumsi energi yang signifikan pada sistem ventilasi dan AC [5]. Beberapa solusi konservasi energi untuk bangunan gedung telah dipromosikan mencakup pengembangan sistem AC gedung yang dilengkapi sistem pemanfaatan panas buang (heat recovery) untuk tujuan memanaskan air [6-10]; menjaga kinerja sistem dengan cara pemantauan ketat parameter kunci dari chiller termasuk temperatur approachnya evaporator dan kondensor [11]; dan mengoptimalkan distribusi sistem sirkulasi air dingin [12]. Solusi konservasi energi untuk bangunan ini dapat mendorong aplikasi efisiensi energi menjadi lebih luas, dalam mendukung komitmen dan program Pemerintah Indonesia untuk menurunkan emisi dari Gas Rumah Kaca (GRK) mencapai 26% sampai tahun 2020 [13]. Oleh karena itu, tindakan dari sektor bangunan untuk memitigasi dan beradaptasi dengan perubahan iklim sejak dini menjadi sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi bangunan dan emisi GRK [14].

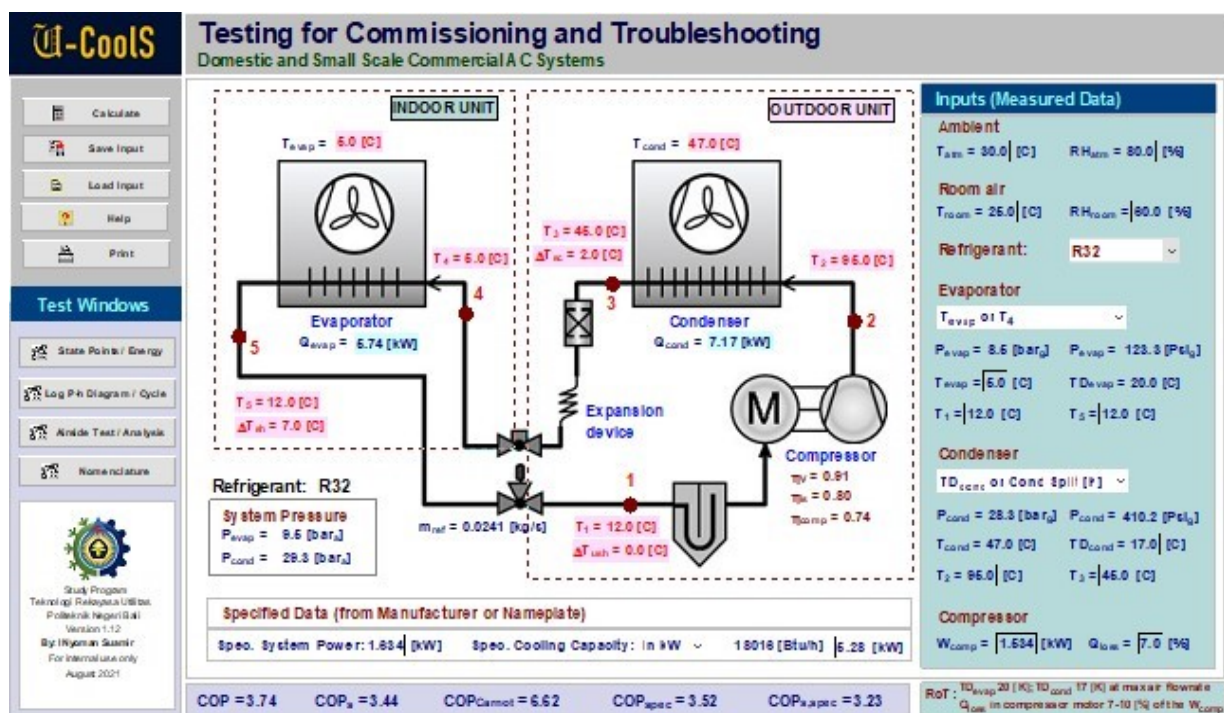
Untuk bangunan yang menggunakan sistem AC split, metode pemasangan juga dapat menjadi faktor yang dapat menyebabkan sistem AC menjadi boros energi dan juga

dapat menyebabkan kerusakan dini pada kompresor AC tersebut [15]. Kerusakan dini dapat terjadi dua atau tiga tahun setelah pemasangan. Meskipun masa pakai sistem AC tipe split dalam kondisi operasi normal dapat mencapai 15 tahun. Praktisnya penggantian sistem AC split dianjurkan setelah setiap jangka waktu 10 tahun [16].

Paper ini menyajikan kajian energi secara termodinamik melalui siklus refrigerasi kompresi uap. Kajian dilakukan dengan menerapkan sebuah program komputer yang dibuat khusus untuk simulasi kinerja sistem AC split pada berbagai parameter operasional. Aspek utama yang dikaji dan dievaluasi dalam paper ini adalah kinerja energi mencakup COP, EER, efisiensi kompresor dan konsumsi daya pada berbagai kondisi operasional pada sistem AC split bangunan komersial yang menggunakan refrigeran R-32A. Refrigeran R-32A merupakan tipe refrigeran yang umum dipilih oleh berbagai manufaktur karena memiliki keunggulan tidak berpotensi menyebabkan penipisan lapisan ozon ($ODP = 0$) dan potensi pemanasan global yang relatif rendah dibandingkan R-410A dan R-407C [17].

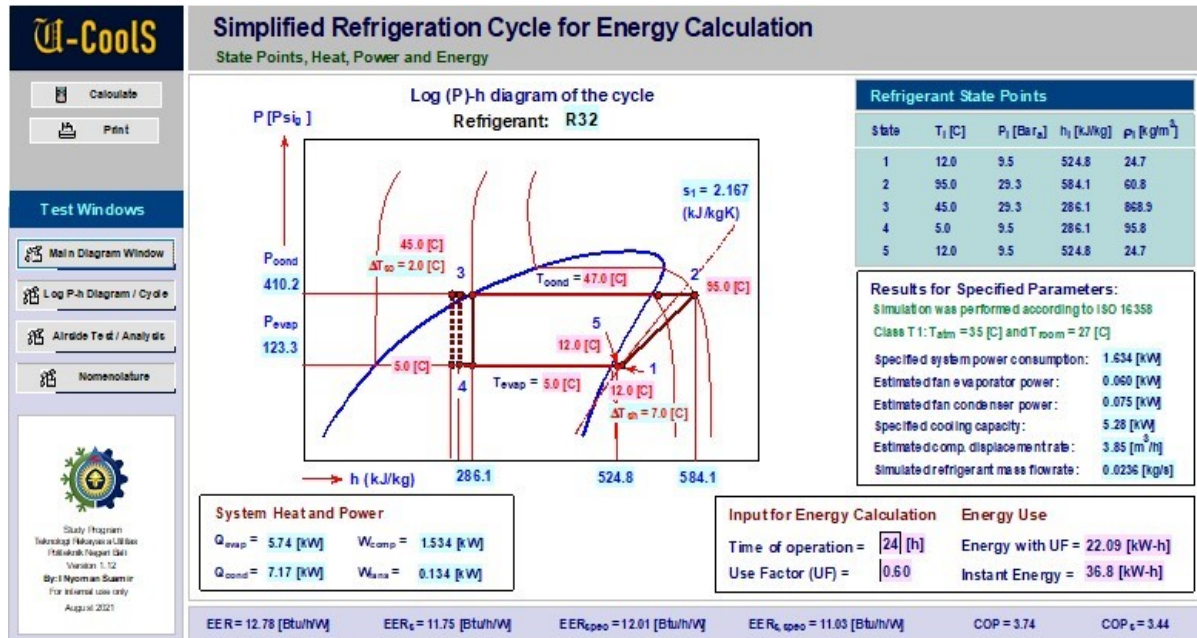
2. Metode

Simulasi termodinamik kinerja sistem refrigerasi untuk aplikasi sistem AC split menggunakan program komputer mandiri diterapkan sebagai metode dalam penelitian ini. Program komputer mandiri ini disebut program U-CoolS V.1.12 dikembangkan pada program Engineering Equation Solver (EES) Professional V11.334. Metode studi literatur juga diterapkan untuk mendapatkan data sekunder khususnya dari pabrikan berbagai AC split. Data sekunder dimanfaatkan untuk validasi model AC split yang dibuat dalam program komputer mandiri U-CoolS V.1.12. Tampilan model AC split lengkap dengan parameter operasionalnya di dalam diagram window utama program U-CoolS disajikan pada Gambar 1.



Parameter operasi utama yang dikaji dalam penelitian ini mencakup temperatur udara lingkungan, temperature kondensasi di kondensor, temperatur evaporasi di evaporator. Pengaruh dari perubahan parameter operasi ini terhadap kinerja kompresor, kinerja energi sistem AC seperti COP (Coefficient of Performance) dan EER (Energy Efisiensi Ratio) dievaluasi secara komprehensif dalam paper ini. Untuk dapat melakukan kajian secara komprehensif model AC Split juga dilengkapi dengan siklus

refrigerasi berdasarkan parameter operasional sistem AC split pada diagram window utama. Identifikasi masing-masing titik pengamatan dari siklus refrigerasi juga mengacu kepada skematik sistem AC pada diagram window utama tersebut. Diagram anak window yang menyajikan siklus refrigerasi dalam diagram log P-h lengkap dengan tingkat keadaan masing-masing titik pengamatan dari sistem AC split seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram anak window dengan siklus refrigerasi pada diagram log P-h lengkap dengan tingkat keadaan refrigeran dan spesifikasi teknis dari AC split

Adapun kinerja kompresor yang dikaji dan dievaluasi mencakup efisiensi kompresor, temperatur kompresor yang dapat diestimasi dari temperatur refrigeran yang ke luar dari kompresor (T₂), laju massa refrigeran dan konsumsi daya kompresor. Dalam simulasi termodinamik pada program U-CoolS V.1.12, efisiensi isentropik dan volumetrik kompresor ditentukan dengan menggunakan persamaan dari referensi [18] yang telah disesuaikan dengan faktor koreksi melalui validasi program berdasarkan data spesifikasi dari pabrikan untuk berbagai tipe dan merk AC split.

$$\eta_s = 1.32 (0.00476 \cdot R_p^2 - 0.09238 \cdot R_p + 0.89810) \quad (1)$$

$$\eta_v = 1.18 (0.00816 \cdot R_p^2 - 0.15293 \cdot R_p + 1.13413) \quad (2)$$

Dimana: η_s = efisiensi isentropik; η_v = efisiensi volumetrik dan R_p = rasio tekanan tinggi dan tekanan rendah dari sistem AC. Efisiensi isentropik (η_s) dapat juga ditentukan dengan membagi kerja kompresi isentropik spesifik kompresor ($h_{2s} - h_1$) dengan kerja kompresi hidrolik spesifiknya ($h_2 - h_1$).

$$\eta_s = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

Sedangkan efisiensi kompresor (η_{kom}) dapat ditentukan berdasarkan rasio kerja kompresi hidrolik kompresor ($\dot{m}_r (h_2 - h_1)$) dan daya kompresor (W_{kom}) seperti yang dapat dilihat pada persamaan (4).

$$\eta_{kom} = \frac{\dot{m}_r (h_2 - h_1)}{W_{kom}} \quad (4)$$

Dimana: $\dot{m}_r$ = laju massa refrigeran (kg/s); h_1 = entalpi spesifik refrigeran pada saluran masuk kompresor (kJ/kg); h_2 = entalpi spesifik refrigeran pada saluran ke luar kompresor (kJ/kg); h_{2s} = entalpi spesifik refrigeran pada saluran keluar kompresor yang memiliki entropi sama dengan saluran masuk kompresor (kJ/kg); W_{kom} = konsumsi daya listrik kompresor (kW).

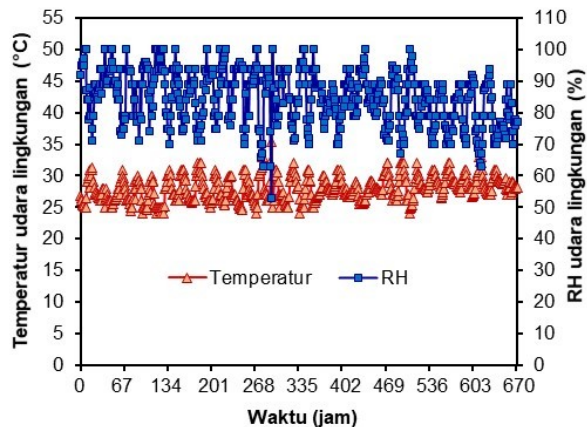
Koefisien kinerja sistem AC split (COP) dihitung dari kapasitas pendinginan sistem AC (Q_{eva}) dalam kW dan daya kompresor (W_{kom}) juga dalam kW seperti yang ditampilkan pada persamaan (5).

$$COP = \frac{Q_{eva}}{W_{kom}} \quad (5)$$

Sedangkan rasio efisiensi energi (EER) dihitung dari kapasitas pendinginan sistem AC (Q_{eva}) dan daya kompresor (W_{kom}). Satuan Q_{eva} dibuat dalam Btu/h sedangkan satuan W_{kom} menjadi Watt dan dapat dirumuskan menjadi persamaan (6).

$$EER = \frac{Q_{eva}}{W_{kom}} \quad (Btu/Wh) \quad (6)$$

Kajian termodinamik kinerja AC split pada penelitian ini diterapkan pada sebuah sistem AC split 2 Pk dengan refrigeran R-32 yang diaplikasikan pada salah satu ruang laboratorium komputer pada Gedung Pendidikan di Politeknik Negeri Bali. Evaluasi dibuat berdasarkan temperatur udara lingkungan di Daerah Bali yang berada pada rentang temperatur dari 24 °C sampai dengan 35 °C dengan sumber data dari stasiun meteorologi Bandara Ngurah Rai Bali yang dapat diambil dari referensi [19]. Variasi lengkap temperatur dan RH (Relative Humidity) dari udara lingkungan yang digunakan merupakan data pada bulan Februari seperti yang dipresentasikan pada Gambar 3.



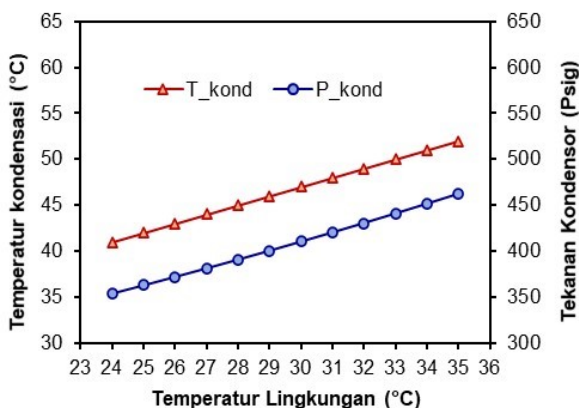
Gambar 3. Variasi temperatur dan RH udara lingkungan di Daerah Bali per jam pada bulan Februari [19]

Kajian termodinamik kinerja sistem AC split pada berbagai variasi temperatur lingkungan yang berpengaruh langsung terhadap temperatur kondensor dari sistem AC dilakukan pada sistem AC dengan berbagai kondisi temperatur evaporasi. Tetapi dengan derajat sub-cooling kondensor dan derajat superheat evaporator dijaga konstan berturut-turut pada tingkat 3 °C dan 7 °C. Juga diasumsikan kondensor TD (Temperature Difference) atau condenser split standar sebesar 17 °C dan evaporator memiliki spesifikasi evaporator split juga standar sebesar 20 °C.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Temperatur dan Tekanan Kondensor

Hasil simulasi dan kajian pada pengaruh temperatur udara lingkungan terhadap temperatur kondensasi refrigeran di kondensor disajikan pada Gambar 4.



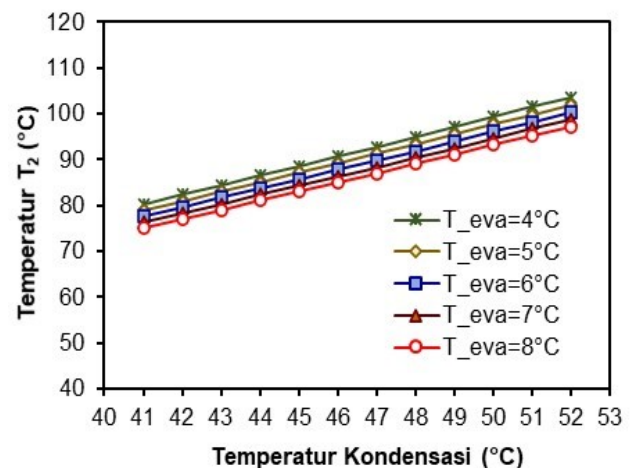
Gambar 4. Efek temperatur udara lingkungan terhadap temperatur dan tekanan kondensor (T_{kond} dan P_{kond})

Dievaluasi berdasarkan temperatur udara lingkungan dari 24 °C sampai dengan 35 °C terjadi peningkatan yang proporsional pada temperatur kondensasi sistem AC split yaitu dari 41 °C sampai dengan 52 °C. Hal ini terjadi karena condenser split atau kondensor TD dari kondensor konstan yang disebabkan oleh tidak adanya perubahan putaran kipas kondensor serta koil dan fin kondensor dianggap masih bersih selama dalam penelitian.

Tekanan kondensor mengalami peningkatan yang cukup signifikan apabila temperatur lingkungan berubah naik dari 24 °C menjadi 35 °C. Besar peningkatan mencapai sebesar 109 Psi yaitu dari tekanan yang awalnya 354 Psig naik menjadi 462 Psig. Variasi selengkapnya antara temperatur kondensasi dan tekanan kondensor sebagai akibat dari perubahan temperatur udara lingkungan disajikan pada Gambar 4.

3.2. Kajian Pengaruh Temperatur Kondensasi dan Evaporasi terhadap Kinerja Kompresor

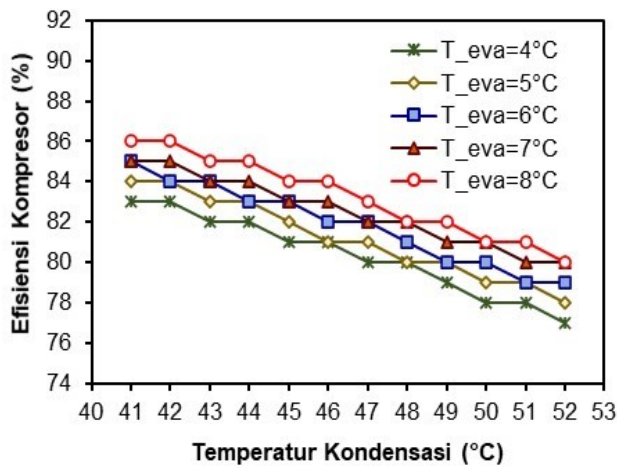
Temperatur kondensasi yang berkorelasi dengan tekanan kondensor dan temperatur evaporasi (T_{eva}) refrigeran di evaporator berkaitan erat dengan tekanan evaporator dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja kompresor dan sistem AC secara keseluruhan. Kedua parameter tersebut dapat berpengaruh terhadap temperatur kompresor, efisiensi, daya kompresor dan laju massa refrigeran yang mampu disirkulasikan oleh kompresor.



Gambar 5. Temperatur kompresor yang dapat diestimasi dari temperatur refrigeran keluar kompresor (T_2)

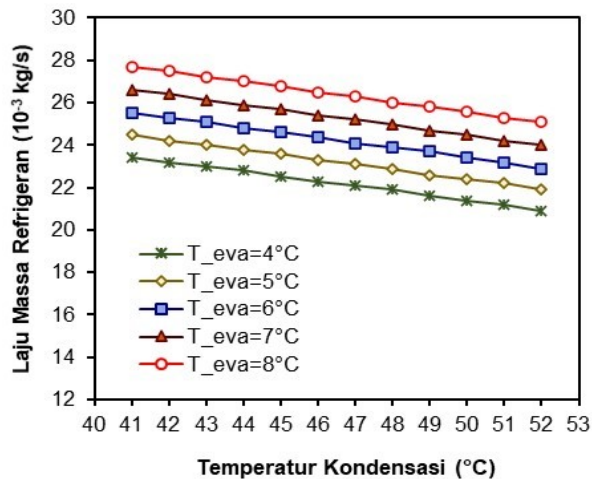
Pada Gambar 5 disajikan variasi temperatur kompresor yang diindikasikan dari temperatur refrigeran yang ke luar kompresor (T_2). Dapat dilihat dengan jelas bahwa temperatur kompresor semakin tinggi apabila temperatur kondensasi meningkat. Diamati pada temperatur evaporasi ($T_{eva}=5^\circ\text{C}$) 5 °C, apabila temperatur kondensasi naik dari 41 °C ke 52 °C maka temperatur kompresor meningkat sekitar 23 °C (dari 79 °C menjadi 102 °C).

Dari Gambar 5 juga dapat diilustrasikan bahwa temperatur evaporasi (T_{eva}) juga dapat mempengaruhi temperatur kompresor. Walaupun pengaruhnya tidak sekuat pengaruh temperatur kondensasi dan justru pengaruhnya merupakan kebalikan dari pengaruh temperatur kondensasi. Temperatur kompresor meningkat semakin tinggi apabila sistem AC beroperasi pada temperatur evaporasi yang semakin rendah.



Gambar 6. Efisiensi kompresor pada berbagai temperatur kondensasi dan evaporasi

Hasil kajian termodinamik juga menunjukkan pengaruh dari temperatur kondensasi terhadap efisiensi kompresor. Efisiensi kompresor dapat turun sampai 6% apabila temperatur kondensasi naik dari 41 °C menjadi 52 °C. Efisiensi kompresor sebaliknya meningkat sebesar 3% apabila temperatur evaporasi naik dari 4 °C ke 8 °C (Gambar 6). Variasi ini disebabkan oleh karena perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi dapat berpengaruh secara langsung terhadap rasio kompresi kompresor. Rasio kompresi meningkat dengan adanya kenaikan temperatur kondensasi dan/atau penurunan temperatur evaporasi. Dimana efisiensi kompresor sangat dominan dipengaruhi oleh rasio kompresi kompresor.

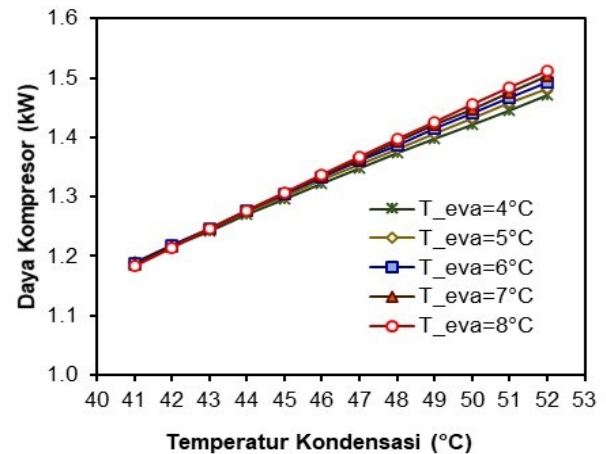


Gambar 7. Pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap laju massa refrigeran yang dialirkan kompresor

Temperatur kondensasi dan temperatur evaporasi juga dapat mempengaruhi laju massa refrigeran yang mampu disirkulasikan oleh kompresor seperti yang disajikan pada Gambar 7. Laju massa refrigeran menurun sekitar 10,7% pada 11 °C kenaikan temperatur kondensasi (dari 41 °C ke 52 °C) atau menurun sekitar 1% per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi. Penurunan laju massa refrigeran akibat kenaikan temperatur kondensasi dipengaruhi oleh adanya penurunan efisiensi volumetrik kompresor apabila beroperasi pada rasio kompresi yang lebih tinggi. Naiknya temperatur kondensasi pada kondisi temperatur evaporasi

yang konstan dapat meningkatkan rasio kompresi kompresor.

Pengaruh temperatur evaporasi menunjukkan kebalikan dari pengaruh temperatur kondensasi. Massa refrigeran yang mampu dialirkan oleh kompresor semakin meningkat apabila sistem AC beroperasi pada temperatur evaporasi yang semakin tinggi. Peningkatan laju massa refrigeran dapat terjadi sekitar 4,3% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi. Kenaikan laju massa refrigeran ini disebabkan oleh karena meningkatnya massa jenis gas refrigeran pada temperature dan tekanan yang lebih tinggi.



Gambar 8. Pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap daya kompresor

Pada Gambar 8 diilustrasikan pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap daya kompresor. Terlihat sangat jelas bahwa daya kompresor meningkat cukup signifikan sebesar 0,3 kW apabila temperatur kondensasi naik dari 41 °C menjadi 52 °C. Terjadi peningkatan konsumsi daya sekitar 2,1% per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi. Hal ini menunjukkan bahwa kerja kompresi kompresor semakin berat apabila temperatur kondensasi sistem AC meningkat.

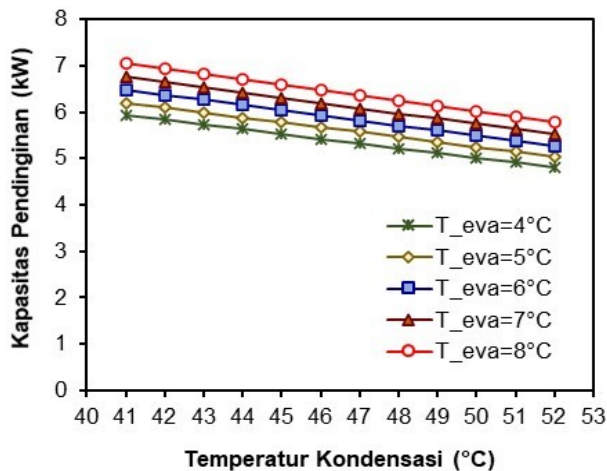
Sedangkan pengaruh variasi temperatur evaporasi terhadap konsumsi daya kompresor tidak begitu signifikan. Perubahan temperatur evaporasi pada sistem AC yang beroperasi pada temperatur kondensasi di bawah 44 °C tidak mengakibatkan adanya perubahan yang berarti pada konsumsi daya kompresor. Pengaruh temperatur evaporasi nampak relatif lebih signifikan pada sistem AC yang beroperasi pada temperatur kondensasi yang lebih tinggi. Konsumsi daya sedikit meningkat sekitar 0,31% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi. Kenaikan konsumsi daya terjadi sebagai akibat dari laju massa refrigeran yang dialirkan semakin besar apabila temperatur evaporasi meningkat. Peningkatan laju aliran massa dapat meningkatkan kerja kompresi dari kompresor sebagai akibatnya terjadi peningkatan daya yang dibutuhkan oleh kompresor.

3.3. Kajian Pengaruh Temperatur Kondensasi dan

Evaporasi Terhadap Kinerja Energi Sistem AC Split

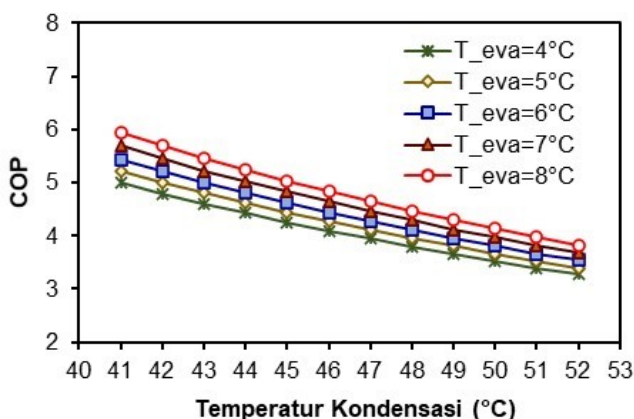
Hasil kajian termodinamik tentang efek dari perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap kapasitas pendinginan sebagai salah satu parameter kinerja energi dari sistem AC disajikan pada Gambar 9. Kapasitas pendinginan (Cooling Capacity) sistem AC split dengan R-

32 menunjukkan adanya penurunan walaupun tidak signifikan apabila temperatur kondensasinya meningkat. Besarnya penurunan kapasitas pendinginan berkisar 1,8% per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi. Sebaliknya Nampak dari grafik pada Gambar 9, terjadi kenaikan kapasitas pendinginan yang cukup signifikan apabila sistem AC bekerja pada temperatur evaporasi yang lebih tinggi. Untuk sistem AC split 2 Pk dengan kapasitas pendinginan 5,37 kW pada temperatur evaporasi 4 °C, dapat terjadi kenaikan kapasitas pendinginan mencapai 1,04 kW apabila temperatur evaporasinya naik dari 4 ke 8 °C. Peningkatan kapasitas pendinginan tersebut terhitung mencapai 4,4% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi.



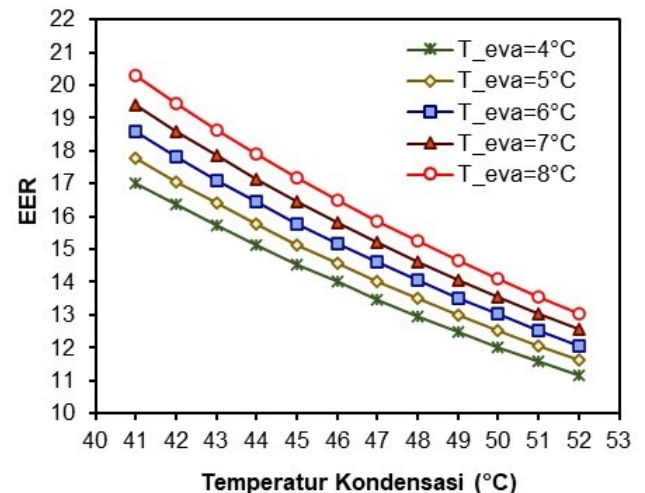
Gambar 9. Variasi kapasitas pendinginan pada berbagai temperatur kondensasi dan evaporasi

Parameter kinerja utama sistem refrigerasi yaitu COP atau EER sudah dapat dipastikan juga dipengaruhi oleh adanya perubahan temperatur kondensasi dan evaporasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 10 dan 11. Nampak dari grafik terjadi penurunan COP dan EER yang lebih signifikan dibandingkan dengan penurunan kapasitas pendinginan pada saat sistem AC beroperasi pada temperatur kondensasi yang meningkat. Besarnya penurunan COP atau EER per 1 °C kenaikan temperatur kondensasi bisa mencapai 3,9%. Perubahan ini disebabkan oleh di samping adanya penurunan kapasitas pendinginan juga terjadi peningkatan daya kompresor apabila temperatur kondensasi sistem AC meningkat.



Gambar 10. Variasi kinerja energi COP sistem AC split akibat berubahnya temperatur kondensasi dan evaporasi

Sebaliknya COP atau EER ditemukan meningkat dengan cukup signifikan apabila temperatur evaporasi naik. Untuk sistem AC 2 Pk yang beroperasi dengan peningkatan temperatur evaporasi dari 4 °C ke 8 °C akan terjadi perbaikan COP atau EER sebesar 16,4% atau sekitar 4.1% per 1 °C kenaikan temperatur evaporasi. Prosentase kenaikan COP atau EER ini lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan kapasitas pendinginan sebagai akibat dari adanya peningkatan konsumsi daya kompresor apabila beroperasi pada temperatur evaporasi yang lebih tinggi.



Gambar 11. Pengaruh temperatur kondensasi dan evaporasi terhadap kinerja EER sistem AC split

Hasil kajian ini menunjukkan bahwa untuk menjamin sistem AC split dapat beroperasi secara efisien dengan kinerja yang tinggi, maka sangat penting untuk menjaga sistem AC split agar dapat beroperasi pada temperatur kondensasi yang lebih rendah dan temperatur evaporasi yang lebih tinggi.

Hasil kajian ini juga menunjukkan bahwa kinerja sistem AC split dengan menggunakan refrigeran R-32 memiliki rentang COP yang sangat baik dari 3,27 sampai 5,95. Hasil ini dapat memberikan indikasi bahwa refrigeran R-32 sangat potensial menjadi refrigeran untuk aplikasi sistem AC split.

4. Kesimpulan

Kajian termodinamik kinerja energi sistem AC split dengan R-32 untuk aplikasi bangunan pendidikan di Politeknik Negeri Bali telah dilakukan dengan menggunakan program mandiri U-CoolS V.1.12 yang dikembangkan pada program EES V11.334. Hasil kajian menunjukkan kuatnya pengaruh parameter operasional temperatur kondensasi kondensor dan temperatur evaporasi evaporator terhadap kinerja kompresor dan kinerja energi keseluruhan sistem AC split.

Hasil kajian termodinamik ini juga mengindikasikan bahwa sistem AC split dapat beroperasi secara efisien dengan kinerja energi yang tinggi, maka sangat penting untuk menjaga sistem AC split agar dapat beroperasi pada temperatur kondensasi yang relatif lebih rendah dan temperatur evaporasi yang relatif lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas dukungan dana dari Penelitian Institusi DIPA Politeknik Negeri Bali. Juga kepada P3M Politeknik Negeri Bali atas bantuan dan

dukungan administratif, monitoring dan evaluasi sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan terarah dan lancar. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada tim laboratorium Komputer dan laboratorium Tata Udara Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali atas bantuan teknis yang sudah diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang, J. Yan, "Achieving better Energy-efficient Air Conditioning - a Review of Technologies and strategies", *Appl Energy*, 104, 2013, pp. 87-104.
- [2] N.A. Kurekci, "Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls by Using Heating and Cooling degree-day Values of all Turkey's Provincial Centers", *Energy Build*, 118, 2016, pp. 197-213.
- [3] I. Morna and P.V.V. Detlef, "Modeling Global Residential Sector Energy Demand for Heating and Air Conditioning in the Context of Climate Change", *Energy Policy*, 37, 2009, pp. 507-21.
- [4] M.J. Scott, and Y.J. Huang, "Annex A: Technical Note: Methods for Estimating Energy Consumption in Buildings in Effects of Climate Change on Energy Production and use in the United States a Report by the US Climate Change Science Program and the subcommittee on global change research", Washington DC, 2007.
- [5] J. Deng, S. He, Q. Wei, M. Liang, Z. Hao, H. Zhang, "Research on systematic optimization methods for chilled water systems in a high-rise office building", *Energy Build.*, 209, 2020, pp. 109695.
- [6] I.N. Suamir, I.N. Ardita and 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", *Adv. Sci. Lett.*, 23, 2017, pp. 12206-12210.
- [7] I.N. Suamir, I.N. Ardita and N.I.K. Dewi, "Integration of heat pump and heat recovery of central AC system for energy use reduction of hotel industry", *Refrigeration Science and Technology*, 2015, pp. 3581-3588.
- [8] 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", *Adv. Sci. Lett.*, 23, 2017, pp. 12202-12205.
- [9] I.N. Suamir, I.N. Ardita and 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, pp. 712-717.
- [10] I.N. Suamir, M.E. Arsana, I.W.A. Subagia, I.M. Rasta, L.P.I. Midiani and A. Wibolo, "Site investigation on water cooled chiller plant for energy conservation and environmental impact reduction of a large shopping mall", *AIP Conference Proceedings*, 2019, pp. 2187-20042.
- [11] I.N. Suamir, I.N.G. Baliarta, M.E. Arsana, Sudirman and I.M. Sugina, "Field-based analyses on approach temperatures for performance evaluation of centralized air conditioning system in a shopping mall building", *J. Phys. Conf. Ser.* 1569, 2020, pp. 032041.
- [12] I.N. Suamir, Sudirman, I.N. Ardita and G. Santanu, "Experimental and Numerical Optimization on Chilled Water Configuration for Improving Temperature Performance and Economic Viability of a Centralized Chiller Plant", *J. Phys. Conf. Ser.*, 1450, 2020, pp. 012106.
- [13] Building energy data United States, 2010, online <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx> (diakses 28 Maret. 2022).
- [14] IPCC Climate Change, "Synthesis Report: Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC", Geneva, Switzerland, 2014.
- [15] I.M. Rasta, and I.N. Suamir, "Air conditioning system performance of a city hotel appraised for energy use efficiency", *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 83, 2021, pp. 118-130.
- [16] ASHRAE, "ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2019.
- [17] BS EN 378-1, "Refrigerating systems and heat pumps- Safety and environmental requirements Part 1: Basic Requirements, Definitions, Classification and Selection Criteria", BSI Standards Limited, 70 pgs., 2016.
- [18] T.S. Lee, C.H. Liu, T.W. Chen, "Thermodynamic Analysis of Optimal Condensing Temperature of Cascade-condenser in CO₂/NH₃ Cascade Refrigeration Systems", *Internatinal Journal Refrigeration*, 29, 2006, pp. 1100-1108.
- [19] R. Liggett and M. Milne, "Climate Consultant 6", UCLA Energy Design Tools Group, 2021.

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

