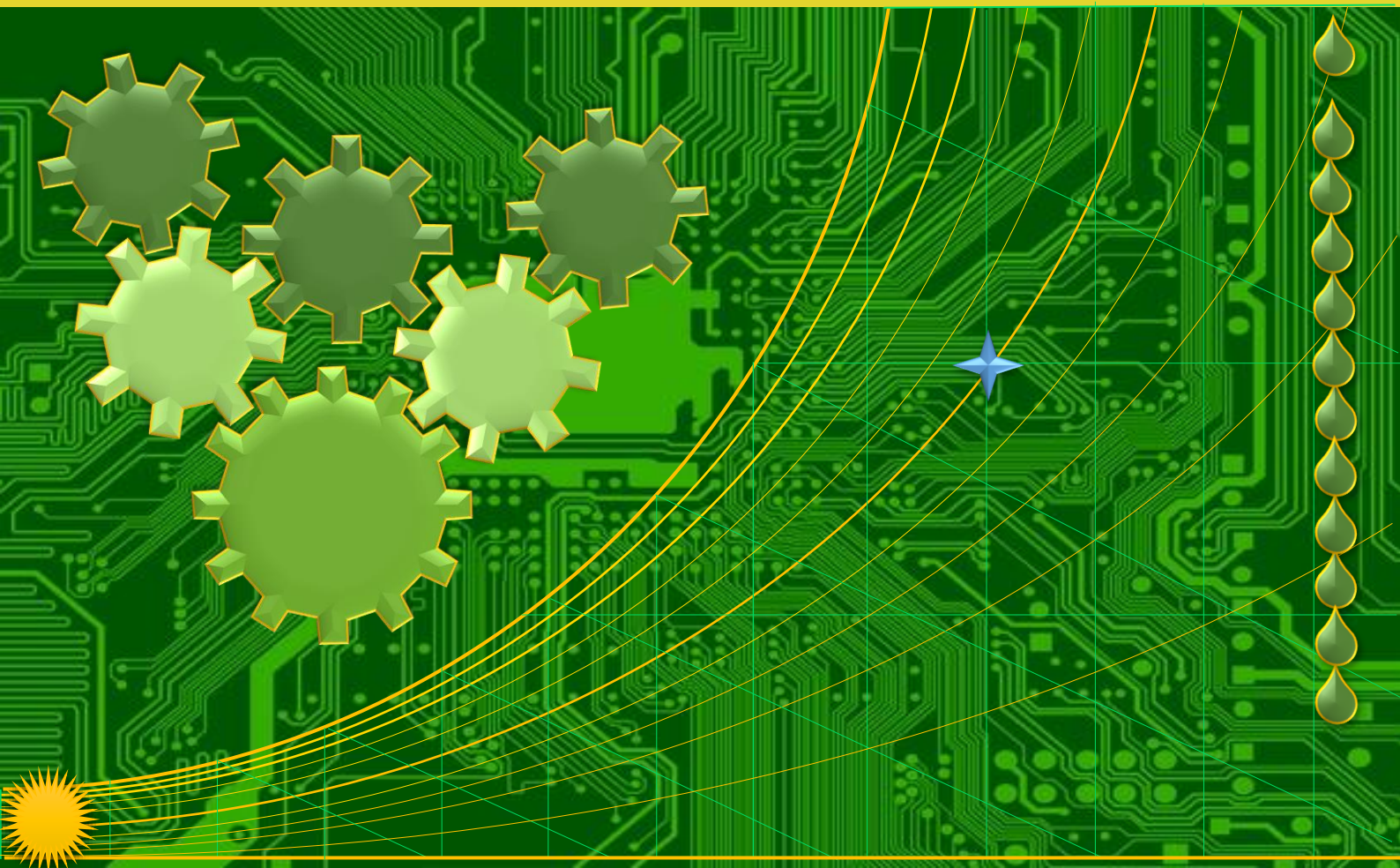
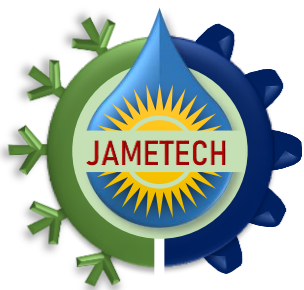




JAMETECH

**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*)

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 2 issue 3 published in November 2021. The current issue includes 7 papers which covers 38 pages from 97 to 134.

Best Regards,
JAMETECH Editorial Team

TABLE OF CONTENTS

The effect of replacing standard carburetor with PE-28 carburetor on performance ang fuel consumption on 2006 Honda Tiger Revo	97-101
<i>I Nengah Ludra Antara, I Nyoman Sutarna, I. B. Puspa Indra</i>	
Analisis pekerjaan variation order pada proyek pembangunan gedung menara mandiri.....	102-107
<i>Made Sudiarsa, Ni Kadek Ayu Trisna Dewi, dan I Nyoman Sedana Triadi</i>	
Perbandingan konsumsi bahan bakar pada sistem injeksi dan sistem karburator	108-113
<i>I Nyoman Suparta, I M Suarta, I. P. G. S. Rahtika, P W Sunu</i>	
Analisa Perpindahan Panas Melalui Selubung Bangunan Menggunakan Aplikasi Coolpack	114-118
<i>Luh Putu Ike Midiani, I Wayan Adi Subagia, I Kadek Dwiana dan I Putu Merta Adnyana</i>	
Analisa Kinerja FCU Menggunakan Diagram Psikrometri	119-122
<i>Made Ery Arsana, Luh Putu Ike Midiani, dan Arbyansyah Darmawan</i>	
Mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca yang lebih ambisius di Indonesia	123-127
<i>Wayan Gede Santika</i>	
Analisis perbandingan berbagai sistem AC komersial pada aplikasi gedung hotel	128-134
<i>I Nyoman Suamir, I Wayan Temaja dan I Putu Eka Indra Yana</i>	
Meningkatkan keandalan penyulang Buruan dengan pemasangan tekep isolator	135-139
<i>I Wayan Jondra, I Ketut Parti, I Ketut Ta, dan Ni Putu Indah Permata Sari</i>	
Monitoring PLTS dan PLTB kincir vertikal dengan sistem hybrid berbasis Internet Of Things (IoT)	140-145
<i>I Gusti Ngurah Wirahadi Wijaya, I Ketut Parti, dan Lalu Febrian Wiranata</i>	



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca yang lebih ambisius di Indonesia

Wayan Gede Santika^{1*}

¹Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran, Indonesia

*Email: wayan.santika@pnb.ac.id

Abstrak

Dunia internasional menyangkan target penurunan emisi gas rumah kaca Indonesia yang kurang ambisius dan sangat tidak mencukupi untuk mencapai target Kesepakatan Paris. Penelitian ini bermaksud mendapatkan cara-cara untuk mencapai penurunan emisi yang lebih ambisius melebihi target nasional pada sektor energi. Untuk itu, simulasi kebutuhan energi nasional hingga tahun 2030 berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional dilakukan menggunakan software LEAP. Optimasi juga dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional dengan mengutamakan pembangkit-pembangkit dengan biaya produksi listrik paling murah. Selanjutnya, LEAP memperkirakan emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar pada sisi pembangkit listrik dan sisi demand energi non-listrik. Hasil menunjukkan bahwa target penurunan emisi nasional dapat dicapai dengan sangat mudah, yang menunjukkan bahwa target nasional tersebut kurang ambisius. Optimasi penyediaan energi berdasarkan biaya termurah menunjukkan bahwa penambahan kapasitas pembangkit menggunakan energi terbarukan dapat dilakukan bahkan dengan biaya yang jauh lebih murah daripada menggunakan pembangkit berbahan bakar batubara. Skenario ini menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah. Penelitian ini juga mendapatkan bahwa penurunan emisi yang lebih jauh juga dimungkinkan dengan memperluas konversi energi fosil ke energi bersih hingga ke sektor-sektor lainnya, terutama penggunaan energi non-listrik di sektor industri dan transportasi.

Kata kunci: Kesepakatan Paris, NDC, emisi, gas rumah kaca, LEAP

Abstract: The international community considers Indonesian emission reduction targets unambitious to meet the Paris Agreement target. This study is aimed at finding options to achieve more ambitious emission reduction in the Indonesian energy sector beyond the nationally determined contributions. It simulated national energy demand by 2030 by means of LEAP software. Least-cost optimisation in the power sector was also conducted to find the cheapest way to generate electricity. LEAP also estimates greenhouse gas emissions of the energy sector. Results show that the national emission reduction target will be achieved very easily. The least-cost optimisation shows that renewable electricity can be generated cheaper than fossil-fueled electricity. This scenario emits lower greenhouse gases to the environment. This study also found that a more ambitious emission reduction is possible by addressing energy consumption in other sectors, especially non-electricity consumption in the industrial and transport sectors.

Keywords: Paris Agreement, nationally determined contributions, emissions, greenhouse gasses, LEAP

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Pada bulan Juli 2021 Indonesia telah menyampaikan perubahan terhadap kontribusi nasional terhadap penurunan emisi gas rumah kaca (GRK), biasa disebut sebagai *nationally determined contribution* (NDC). Semua negara harus menyampaikan perubahan NDC ini setiap lima tahun dengan harapan agar negara-negara tersebut menargetkan penurunan emisi GRK dalam negeri yang lebih ambisius. Sayangnya perubahan NDC yang disampaikan Indonesia tidak menargetkan penurunan emisi yang lebih ambisius. Indonesia masih menargetkan penurunan emisi GRK sebesar 29% (tanpa syarat) atau 41% (dengan syarat bantuan luar negeri) dibandingkan

total emisi pada skenario acuan (skenario *business as usual*, BAU).

Di sektor energi, target ini diterjemahkan menjadi 11% atau 15,5% dari emisi GRK acuan [1]. Indonesia memperkirakan emisi GRK acuan sektor energi sebesar 1669 megaton CO₂e pada tahun 2030 dan berjanji menurunkannya menjadi 1335 megaton CO₂e (tanpa syarat) atau 1227 megaton CO₂e (bersyarat). Padahal emisi GRK acuan Pemerintah Indonesia ini berdasarkan estimasi permintaan energi yang terlalu tinggi, jauh melampaui estimasi demand energi dari studi-studi lainnya. Pemerintah memperkirakan demand energi sebesar 16,6 miliar GJ pada tahun 2030 pada skenario BAU [2].

Sebagai pembanding, studi BPPT memperkirakan penggunaan energi sebesar 8,9 miliar GJ pada tahun 2030 [3]. BPPT juga memperkirakan emisi GRK sebesar 1052 megaton CO₂e pada tahun 2030 pada skenario acuan (BAU). Ini berarti Indonesia akan mencapai target NDC-nya dengan sangat mudah (tanpa perlu usaha sama sekali).

Senada dengan itu, The climate Action Tracker (CAT) juga menilai bahwa perkiraan konsumsi energi Pemerintah Indonesia berlebihan dan target NDC Indonesia akan sangat mudah dicapai [4]. CAT juga menilai bahwa target NDC Indonesia sangat tidak mencukupi untuk menjaga pemanasan global kurang dari 2°C rata-rata suhu permukaan bumi jaman pra-industri, apalagi untuk mencapai target 1,5 °C Kesepakatan Paris (*Paris Agreement*).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pilihan-pilihan terbaik dalam mengurangi emisi GRK sektor energi secara lebih ambisius di Indonesia. Untuk itu, kami melakukan simulasi kebutuhan (demand) energi nasional hingga tahun 2030, *least-cost optimisation* pada sektor kelistrikan, dan estimasi emisi GRK nasional hingga 2030. Simulasi kebutuhan energi akan memberikan gambaran pertumbuhan kebutuhan energi hingga 2030, baik berupa energi fosil ataupun energi terbarukan. Optimasi *least-cost* pada sektor kelistrikan dapat digunakan untuk mendapatkan pilihan pembangkit listrik yang terbaik berdasarkan biaya produksi listrik termurah. Dari simulasi kebutuhan energi nasional dan pemilihan pembangkit listrik termurah ini, emisi GRK nasional dapat diperkirakan.

2. Metode

Simulasi dan optimasi dilakukan menggunakan *Low Emission Analysis Platform* (LEAP). LEAP adalah sebuah software yang biasa digunakan untuk melakukan kajian permintaan energi, kelistrikan dan emisi GRK yang dikembangkan oleh Stockholm Environment Institute [5].

Tiga skenario dibuat untuk dibandingkan, yaitu skenario Acuan, skenario RUEN, dan skenario Optimasi. Demand energi mengacu pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) [2] dan diterapkan pada semua skenario. Yang berbeda dari skenario-skenario ini adalah pada sisi pembangkitnya. Skenario acuan mengasumsikan penggunaan pembangkit yang sudah ada untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dan tambahan kebutuhan daya dipenuhi secara proporsional. Skenario RUEN diambil dari asumsi-asumsi dan target-target kelistrikan RUEN. Sementara itu, skenario optimasi didasarkan pada opsi *least-cost optimisation* yang disediakan oleh LEAP.

2.1. Asumsi-asumsi dan Sumber Data

Berikut ini adalah beberapa asumsi dan sumber data:

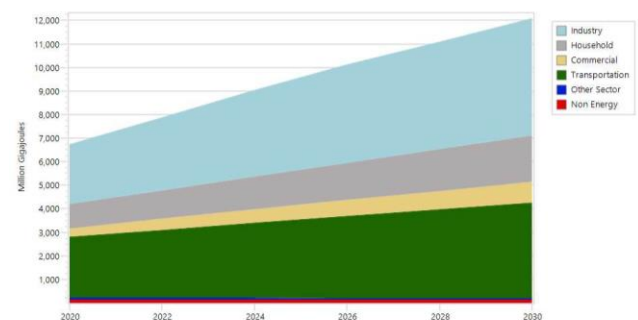
- *Discount rate*: 5,8% (berdasarkan rata-rata *discount rates* dari tahun 2014 hingga 2017 [6]).
- Kebutuhan energi: diambil dari matriks target RUEN [2] dan Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia [7, 8].
- Kerugian-kerugian transmisi dan distribusi listrik: 9,77% pada tahun 2018 [9] menjadi 7,5% pada tahun 2030 [10] untuk skenario RUEN dan optimasi.
- Kerugian transformasi pada kilang minyak, kilang gas, dan tambang batubara secara berurutan sebesar

1,96%, 1,0005%, dan 1,93% (dihitung dari data kementerian [11]).

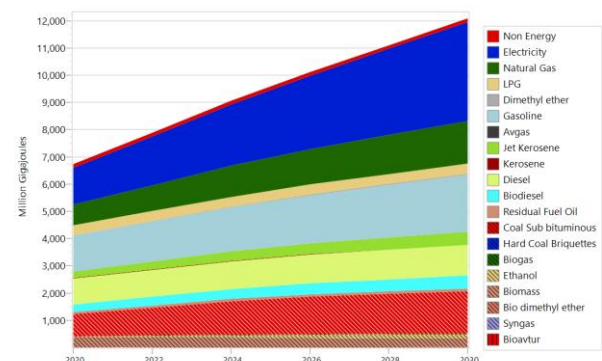
- Kurva beban listrik: diambil dari PLN [12].
- *Planning reserve margin* kelistrikan: 30%.
- Karakteristik dari teknologi pembangkit listrik termasuk efisiensi, *maximum availability*, biaya kapital, biaya tetap dan tidak tetap untuk operasi dan perawatan pembangkit, *capacity credit*, *lifetime*, dan biaya bahan bakar diambil dari berbagai sumber [7, 13-17].
- Environmental effects: diambil dari IPCC Tier 1 yang disediakan oleh LEAP.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 dan 2 menunjukkan perkiraan RUEN atas kebutuhan energi nasional hingga 2030 menurut sektor dan sumber energi. Kebutuhan energi nasional akan meningkat dari 6,74 miliar GJ pada tahun 2020 menjadi 12,08 miliar GJ sepuluh tahun kemudian. Sektor industri akan menjadi demand energi terbesar disusul sektor transportasi. Demand energi terbesar pada tahun 2030 akan berupa permintaan listrik, yaitu hingga 3,63 miliar GJ (30% dari seluruh demand). Hal ini disebabkan oleh target konsumsi listrik per kapita yang sangat ambisius, sebesar 7 MWh pada tahun 2050. Permintaan terhadap bensin, gas alam, batubara dan diesel juga cukup besar, yaitu 17,1%, 12,92%, 12,92%, dan 9,33% (berurutan).



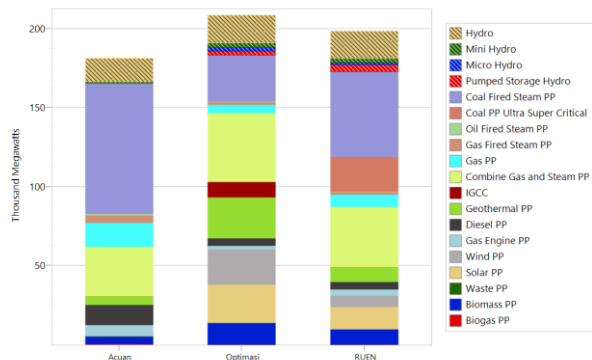
Gambar 1. Perkiraan RUEN atas kebutuhan energi nasional hingga 2030, menurut sektor



Gambar 2. Perkiraan RUEN atas kebutuhan energi nasional hingga 2030, menurut sumber energi

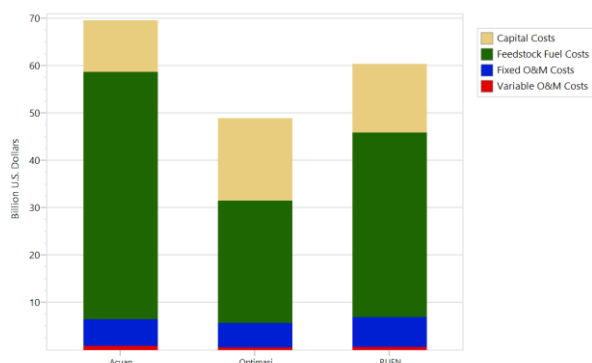
Gambar 3 menunjukkan estimasi kapasitas listrik nasional pada tahun 2030. Untuk memenuhi ambisi konsumsi listrik per kapita yang sangat besar di masa

depan, kapasitas pembangkit listrik harus ditambah hingga hampir tiga kali lipat kapasitas tahun 2020, menjadi sebesar 181,07 GW, 198,3 GW, dan 208,14 GW sesuai skenario acuan, RUEN, dan optimasi (secara berurutan). Tanpa perubahan kebijakan kelistrikan, pemenuhan kebutuhan listrik pada skenario acuan akan didominasi oleh pembangkit batubara dan gas alam. Pada skenario RUEN, kebutuhan listrik masih akan dipenuhi secara dominan oleh pembangkit batubara dan gas alam, namun terlihat juga peningkatan pembangkit dengan sumber energi terbarukan, termasuk hidropower, tenaga matahari, angin, dan biomasa.



Gambar 3. Perkiraan kapasitas pembangkit listrik tahun 2030 menurut skenario yang berbeda

Optimasi biaya yang dilakukan LEAP pada skenario optimasi menganjurkan penggunaan pembangkit energi terbarukan yang lebih banyak, terutama pembangkit panas bumi, matahari, angin, hidropower, dan biomasa. Hal ini menunjukkan bahwa pembangkitan listrik dengan energi terbarukan sudah lebih murah (*cost-effective*) dibandingkan dengan menggunakan tenaga fosil (dalam hal ini batubara).



Gambar 4. Perkiraan biaya produksi listrik sesuai kebutuhan listrik tahun 2030

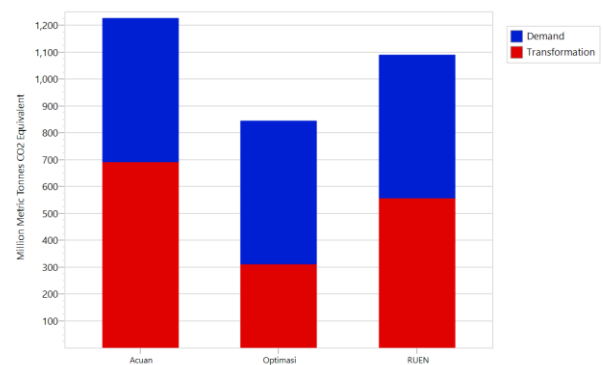
Optimasi *least-cost* yang dilakukan LEAP memastikan bahwa biaya produksi listrik pada tahun 2030 menjadi paling rendah dibandingkan skenario RUEN dan acuan. Gambar 4 menunjukkan bahwa tanpa kebijakan yang menekankan penggunaan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional biaya produksi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik tahun 2030 dapat mencapai 69,55 miliar dolar Amerika (skenario acuan). Biaya bahan bakar akan mendominasi keseluruhan biaya produksi listrik pada skenario acuan ini. Peningkatan

penggunaan pembangkit terbarukan akan memperbesar biaya modal pembangunan pembangkit, namun secara bersamaan menurunkan secara drastis biaya bahan bakar, seperti ditunjukkan pada skenario RUEN dan optimasi. Total biaya produksi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik tahun 2030 untuk skenario RUEN dan optimasi jauh lebih rendah dari total biaya produksi listrik skenario acuan. Mengingat kebutuhan listrik diset sama untuk semua skenario, maka biaya produksi listrik per kWh paling rendah didapatkan dengan menerapkan skenario optimasi yang menekankan penggunaan pembangkit terbarukan yang lebih banyak.

Tabel 1. Persentase sumber energi listrik pada tahun 2030

%	Acuan	Optimasi	RUEN
Terbarukan	12.82	46.18	27.55
Gas alam	28.06	29.55	22.66
Batubara	51.66	24.26	48.55
Minyak bumi	7.46	-	1.24
Total	100	100	100

Tabel 1 menunjukkan bahwa listrik dapat dibangkitkan dengan energi terbarukan hingga 46% lebih, bahkan dengan biaya produksi yang lebih murah (skenario optimasi) pada tahun 2030. Produksi listrik dari batubara pun dapat ditekan hingga hanya 24,26%. Bandingkan dengan skenario acuan dan RUEN yang masih memproduksi listrik dari batubara sekitar 50% dari total produksi listrik.



Gambar 5. Perkiraan emisi GRK pada sektor energi pada tahun 2030 di sisi non-listrik (demand) dan pembangkit listrik (*transformation*), menurut skenario acuan, optimasi, dan RUEN

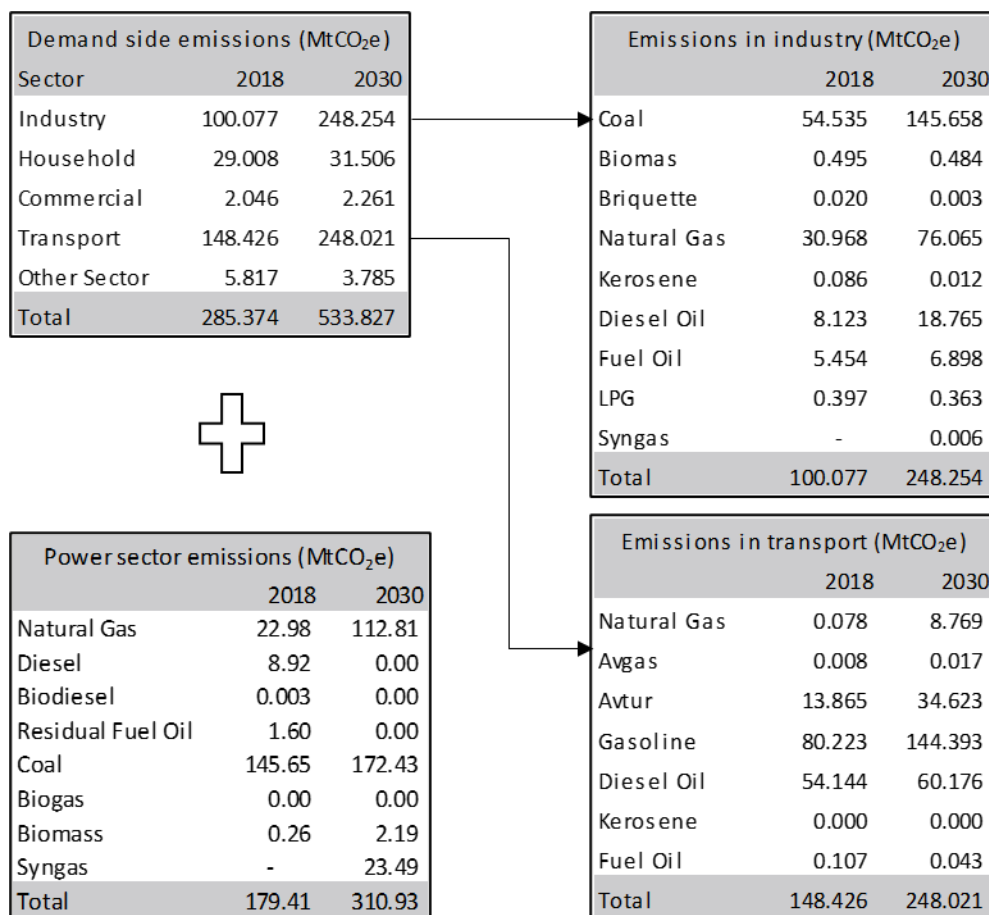
Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, skenario acuan yang didominasi pembangkit fosil akan menghasilkan emisi GRK terbesar (1225,6 megaton CO₂e) pada tahun 2030. Emisi GRK yang besar ini disumbangkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang jauh lebih besar pada sektor pembangkit listrik. Karena ketiga skenario didasarkan pada demand energi yang sama, maka emisi karena penggunaan energi non-listrik di sisi demand akan menunjukkan nilai yang sama pada semua skenario. Pembangkitan listrik dengan dominasi energi terbarukan pada skenario optimasi memastikan emisi karbon pada pembangkit listrik (*transformation*) paling rendah, sehingga total emisi GRK skenario ini adalah 844,76 megaton CO₂e.

Sementara itu, skenario RUEN akan menghasilkan emisi GRK sebesar 1090,56 megaton CO₂e pada tahun 2030.

Total emisi GRK ketiga skenario di atas lebih kecil dari target-target NDC nasional Indonesia sebesar 1335 megaton CO₂e (tanpa syarat) atau 1227 megaton CO₂e (bersyarat). Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia akan mencapai target-target NDC-nya tanpa perlu melakukan usaha apapun pada sektor energinya selain menerapkan RUEN pada kebutuhan energi non-listriknnya. Kami mengusulkan revisi asumsi-asumsi RUEN untuk mendapatkan nilai konsumsi energi yang lebih mendekati kenyataan.

Lagipula, dengan menerapkan skenario optimasi, yaitu meningkatkan persentase energi terbarukan pada sisi pembangkit listrik (yang otomatis menurunkan persentase pembangkit uap berbahan bakar batubara), Indonesia dapat menurunkan emisi GRKnya hingga 844,76 megaton CO₂e

(63,3% dari target NDC tanpa syaratnya). Pencapaian penurunan emisi GRK menjadi sebesar 63,3 % dari target NDC inipun hanya menysasar sektor kelistrikan. Penurunan emisi yang lebih besar dapat dicapai dengan memperluas cakupan analisa hingga ke sisi demand energi. Gambar 6 menampilkan sumber-sumber emisi GRK di Indonesia menurut skenario optimasi. Konsumsi energi non-listrik pada sisi demand masih mendominasi dengan perkiraan emisi sebesar 533,8 megaton CO₂e pada tahun 2030. Sektor kelistrikan sendiri menghasilkan emisi yang lebih kecil, yaitu sebesar 310.9 megaton CO₂e. Emisi energi non-listrik di sisi demand sebagian besar akan disumbangkan oleh sektor industri dan sektor transport pada tahun 2030. Emisi GRK di sektor industri terutama disebabkan oleh pembakaran batubara dan gas alam. Sementara itu, emisi di sektor transportasi utamanya karena pembakaran bensin dan minyak diesel.



Gambar 6. Sumber-sumber emisi GRK di sektor energi menurut skenario optimasi

Jadi, untuk menurunkan emisi lebih rendah lagi, selain harus menghentikan pembangunan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang pasti berbahan bakar batubara dan mulai memensiunkan PLTU-PLTU yang masih beroperasi, Indonesia juga harus melakukan konversi energi yang lebih luas di sektor industri (misalnya dengan mengganti batubara dengan bahan bakar lain yang lebih ramah lingkungan) dan sektor transportasi (misalnya dengan konversi kendaraan bensin dan diesel ke kendaraan listrik dan biodiesel). Selain itu, langkah-langkah penghematan energi (konservasi energi) juga dapat

dilakukan sehingga konsumsi energi, baik listrik dan non-listrik, dapat dikurangi. Namun demikian, kajian konservasi energi berada di luar jangkauan penelitian ini.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mendapatkan cara untuk menurunkan emisi GRK Indonesia menjadi jauh lebih rendah dari target NDC dan RUEN. Pada sektor kelistrikan, penurunan emisi ini dapat dilakukan dengan menaikkan ambisi pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan, terutama pembangkit listrik tenaga air,

matahari, angin, panas bumi, dan biomasa, serta menghentikan pembangunan baru PLTU (batubara). Hal ini bahkan dapat dicapai dengan biaya keseluruhan yang lebih rendah (dengan metode optimasi *least-cost*). Dengan cara ini, emisi dapat diturunkan hingga hanya 63% dari target NDC tanpa syarat. Ini menegaskan kembali bahwa listrik dapat diproduksi dengan energi terbarukan bahkan dengan biaya lebih murah daripada menggunakan PLTU (batubara). Selanjutnya, penurunan emisi GRK yang lebih ambisius dari itu dapat dilakukan dengan memperluas cakupan konversi energi hingga ke sektor-sektor lainnya, terutama sektor industri dan sektor transportasi. Penggunaan energi fosil pada sektor-sektor ini sebaiknya segera diganti dengan energi lain yang lebih bersih.

Daftar Pustaka

- [1] GOI, "Updated Nationally Determined Contribution: Republic of Indonesia," Jakarta: Pemerintah Indonesia, 2021. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1BrAgnLuvPqJqAnkDyliD4xFghNHfKAOM/view>.
- [2] MEMR, "Rencana Umum Energi Nasional (National Energy General Plan)," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2017.
- [3] BPPT, "Indonesia Energy Outlook 2019," Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), 2019.
- [4] CAT. (2019). *Country summary: Indonesia*. Available at: <https://climateactiontracker.org/countries/indonesia/>. Accessed on 10 August 2020.
- [5] C. G. Heaps. (2020). *LEAP: The Low Emissions Analysis Platform*. Available at: <https://leap.sei.org/default.asp?action=introduction>.
- [6] M. M. El Rayess, A. Halstead, J. Harris, M. J. Ralyea, and A. F. Tieman, *Indonesia's Public Wealth: A Balance Sheet Approach to Fiscal Policy Analysis*. International Monetary Fund, 2019.
- [7] MEMR, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2018 (Final Edition)," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2019.
- [8] MEMR, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2018," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2018.
- [9] MEMR, "Electricity Statistics 2018," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2019.
- [10] MEMR, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019-2038 (2019-2038 National Electricity Plan)," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2019.
- [11] MEMR, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2016," Ministry of Energy and Mineral Resources, 2016. Available at: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-2016-lvekpnc.pdf>.
- [12] PLN, "Evaluasi operasi sistem Jawa-Bali 2018 (2018 evaluation of the Jawa-Bali power system)," Jakarta: Perusahaan Listrik Negara, 2019.
- [13] Hongli Clean Energy Technologies. (2016). *Hongli Clean Energy Technologies Corp. Reports Fiscal Year 2016 Q1 Financial Results*. Available at: https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1099290/000114420415065404/v424108_ex99-1.htm.
- [14] IEA, "World Energy Outlook 2018," International Energy Agency, 2019.
- [15] K. Handayani, Y. Krozer, and T. Filatova, "From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning," *Energy policy*, vol. 127, pp. 134-146, 2019.
- [16] NEC, "Technology Data for the Indonesian Power Sector: Catalogue for Generation and Storage of Electricity," Jakarta: National Energy Council, 2017.
- [17] NEC, "Indonesia Energy Outlook 2016," Jakarta: National Energy Council, 2016.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

The effect of replacing standard carburetor with PE-28 carburetor on performance fuel consumption on 2006 Honda Tiger Revo

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

¹Mechanical Engineering department, Bali State Polytechnic, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: sutarnanyoman@yahoo.ac.id

Abstract

Carburetors are one of the important components on motorcycles, through modification of replacing Standard Carburetor with Racing Carburetor is one of the ways to improve engine performance. There are several types and sizes of PE, namely PE 24, PE 28, PE 38. PE 28 carburetor is often used on racing motorbikes, both Drag bikes and Roodrace bikes, where this carburetor is able to produce maximum engine performance. By testing the maximum power using a standard carburetor found at 7000 rpm engine speed, which is 11.3 HP, while the maximum power testing using a PE 28 carburetor is found at 7000 rpm engine speed, which is 11.7 HP. For testing the maximum torque using a standard carburetor found at 6000 rpm engine speed, which is 11.7 N.m, while the maximum torque testing using a PE 28 carburetor is found at 7000 rpm engine speed, which is 11.8 N.m. The use of PE 28 carburetor on a 4 stroke motorcycle greatly affects the amount of fuel consumption, it is because the PE 28 carburetor is a racing carburetor that is very suitable for those who want top speed. In addition, the advantage of the PE 28 carburetor is that it is able to improve engine performance because the type of carburetor is different from the standard and there are changes in the dimensions of the venturi hole and intake manifold, so that it can fog up more air and fuel to be brought into the combustion chamber or into the engine cylinder.

Keywords: Carburetor, performance and fuel, Honda Tiger Revo 2006

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

Introduction

In the development of the automotive world, the use of motorcycles is increasing because these wheeled vehicles take part as a means of transportation, this is very helpful for daily activities for the community. So people will choose vehicles that have great power and are fuel efficient as a means of transportation. In the automotive world, there are many types and brands, one example of which is the Honda brand, there are also many types of the Honda brand, one of which is Honda Tiger which is a motorcycle with the highest engine capacity produced by PT Astra Honda Motor (AHM) in the 90s [3], Honda Tiger has well-known reputation for toughness engine that is suitable for long-distance driving. It was first introduced in 1993 known as the Tiger 2000, and the last product released in 2013 was known as the Tiger Revo. Modifications in the automotive field are growing very rapidly and vary, almost all systems in automotive technology, both motorcycles and cars, have a touch of modification. Automotive modification aims to get better engine performance than standard engine performance, by changing component specifications or by adding additional components. Motorcycle vehicles must have good engine resistance and high speed to be used for daily activities, but

nowadays people are not satisfied with the performance of their motorcycle engines and many of them want to improve the engine performance of their vehicles. The performance of the vehicle engine is increased in power and torque by redesigning components related to engine performance, one of which is related to the fuel misting system called the Carburetor [7].

Carburetors are one of the important components in motorcycles, with modifications to replace Standard Carburetor with Racing Carburetor is one of the ways to improve engine performance. PE series carburetor is a racing carburetor that is commonly used, because this carburetor is the most economical and easy to set up and the mechanism is simpler and easier than standard carburetor and its maintenance costs are more economical.

There are several types and sizes of PE, namely, PE 24, PE 28, PE 38. PE 28 carburetor is often used on racing motorbikes, both Drag bikes and Roodrace bikes, where this carburetor is able to produce maximum engine performance, the use of this carburetor can be used various types of motors with adjustment of engine specifications and replacement of supporting components to produce maximum engine performance. Based on this, to improve

the performance of the vehicle engine, one of which we have to modify or replace the carburetor with a racing carburetor such as the PE 28 carburetor, then a new idea is obtained to conduct experimental research to be able to determine the effect of the use of the PE 28 carburetor on engine performance and consumption. fuel on a 2006 Honda Tiger Revo motorcycle [3].

2. Material and Methods

2.1 Design and Sample

This type of research uses an experimental method by replacing a standard carburetor with a PE 28 carburetor on the power and torque of the 2006 Honda Tiger Revo motorcycle and also its effect on fuel consumption. The stages in analyzing are testing using a standard carburetor to obtain power, torque and fuel consumption data based on engine speed (rpm), then replacing the standard carburetor with a PE 28 racing carburetor and testing and retrieval of data as in a standard carburetor.

The determination of the sample in this study was carried out by a field survey at Bengkel Gede Widi Motor (DWM) at the exact address at Jalan Tukad Balian No. 118, Renon Denpasar for 3 months starting from June 2 to August 31, 2021, with a 2006 Honda Tiger Revo Motorcycle in good condition.

2.2 Variable

Research variables can be distinguished based on their function or role, namely:

1. Independent variables include: Carburetor, filter, fuel and lubricant.
2. Dependent variable: Combustion system.
3. Control variables: experience of drivers and repair shop technicians.

2.3 Materials

The research material used is one unit of 2006 4 Stroke Tiger Revo Motorcycle [3], with standard engine specifications, namely:



Figure 1. 2006 4 Stroke Tiger Revo Motorcycle

- Engine Type : 4 stroke, 1 cylinder, SOHC, air cooling
- Cylinder Volume : 196.7 cc
- Maximum Power : 17 PS/8,500 rpm
- Maximum Torque : 1.6 kgf.m/7,000 rpm
- Transmission : 6 speed M/T
- Fuel supply system : Carburetor
- Starter system : Electric and Kick Starter
- Bore x Stroke : 63.5 x 62.2 mm
- Oil capacity : 1 liter

2.4 Instrument

The instruments used in the research include:

- Toolbox set to make it easier for researchers to disassemble and install components on vehicles.
- Dynotest to measure the power and torque generated from the vehicle.
- Blower for air circulation during testing.
- Measuring cup to measure fuel consumption to be used.
- Stopwatch to measure fuel consumption usage time.

2.5 Research Procedure

The research procedure was carried out first, namely testing power and torque using a dynotest tool with the following stages:

- Perform a tune up first on the vehicle before testing to get the vehicle in optimal condition and ready to operate.
- Prepare the vehicle in the dynotest tool.
- Put the seat belt on the suspension or the legs of the vehicle that is fastened to the dynotest tool.
- Turn on the dynotest computer and perform the settings on the computer.
- Starting the test, press the start button on the dynotest to start then gas the vehicle until it shows 2000 rpm until the possible speed, then press the start button again to end.
- Power and torque data will be obtained on the dynotest monitor automatically in the form of a graph.
- Do each test 2 times.
- After testing using a standard carburetor is completed, then perform a test using a PE 28 carburetor.



Figure 2. Dynotest

The next research procedure is a test of fuel consumption:

- Prepare a measuring cup and pour the fuel into the measuring cup as much as 200 ml.
- Attach the measuring cup hose to the fuel line in the carburetor.
- Prepare a stopwatch to time the fuel consumption.
- Gas the vehicle to show 2000 rpm until possible speed.
- Then count the time using a stopwatch for 5 minutes each.
- When finished look at the measuring cup how much fuel is used
- After testing the fuel consumption using a standard carburetor is completed, then do the test using a PE 28 carburetor



Figure 3. Standart Carburetor



Figure 4. PE 28 Carburetor

2.6 Data Analysis

In testing before operation and after being operated on the replacement of the carburetor, there is an effect of engine performance and fuel consumption on a 2006 Honda Tiger Revo motorcycle on the replacement of a standard carburetor with a PE 28 carburetor.

3 Result and Discussion

3.1 Power

Power is the work produced by an engine, at a certain speed in an experiment. The amount of power generated depends on the high and low engine speed. The higher the engine speed, the greater the power produced, but for a certain rotation (maximum rotation) the power will reach the maximum, and after that the amount of power produced will decrease, while the power is calculated in units of KW (kilo watts) or Horse Power (HP) has a close relationship with torque. The amount of power can be known by using the formula [2]:

$$P = 2\pi \cdot n \cdot T \cdot 6000 \text{ (kW)}$$

Description:

P = Engine Power (kW)

n = Engine speed (rpm)

T = Torque (Nm)

Table 1. Average Power Test Results

No	Engine Speed (RPM)	Power Test Result (HP)	
		Power Test Result (HP)	PE 28 Carburetor
1	2000	2.6	2.0
2	3000	4.2	3.7
3	4000	4.6	5.1
4	5000	6.9	7.5
5	6000	10	10
6	7000	11.3	11.7

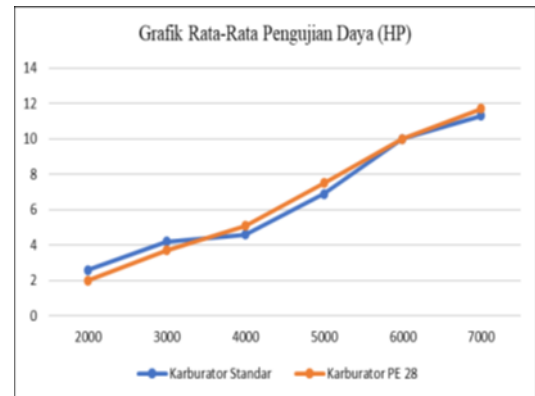


Figure 5. Power test average

Based on the average graph above, the maximum power tested using a standard carburetor is found at 7000 rpm engine speed, which is 11.3 HP, while the maximum power tested using a PE 28 carburetor is found at 7000 rpm engine speed, which is 11.7 HP.

3.2 Torque

Torque or torsion moment is the force multiplied by the length of the arm. In a combustion engine, the force is the motor power while the arm length is the piston arm. If the length of the arm is extended to produce the same moment, a smaller force is required. Conversely, if the distance is the same but the distance is enlarged, the resulting moment will be greater as well. This means that the greater the combustion pressure in the cylinder, the greater the moment generated.

Torque can be obtained by multiplying the force by the distance. ($T = F \times r$) [2]. Maximum torque does not have to be generated at maximum power at the same time. Torque (moment) is closely related to the volumetric efficiency of the motor. This means that the moment is very dependent on the amount of fuel that can be sucked into the cylinder and then burned. This happens because the more fuel is burned, the higher the force generated to push the piston. The motor torque will be maximum if the efficiency is also maximum. If the power of the motor and the number of rotations are known, then the magnitude of the torque for a 4 stroke motor is calculated by the formula [2]:

$$T = 9550 Pn \text{ (Nm)}$$

Description:

T = Torque (Nm)

P = Motor power (kW)

N = Engine rotation (rpm)

9550 = Constant (unchangeable amount of price)

Torque can also be determined by testing with a dynotest tool which can be formulated as follows [2]:

$$T = F \cdot l = m \cdot g \cdot l$$

Description:

T = Torque moment (Nm)

m = Mass measured in dynamometer (kg)

g = Acceleration due to gravity (m/s²)

l = Arm length on dynamometer (m)

Tabel 2. Torque Average Test Results

No	Engine Rotation (rpm)	Torque Average Test Results (Nm)	
		Standart Carburetor	PE 28 Carburetor
1	2000	9.1	7.1
2	3000	9.8	8.9
3	4000	8.1	9
4	5000	9.8	10.6
5	6000	11.7	11.8
6	7000	11.5	11.8

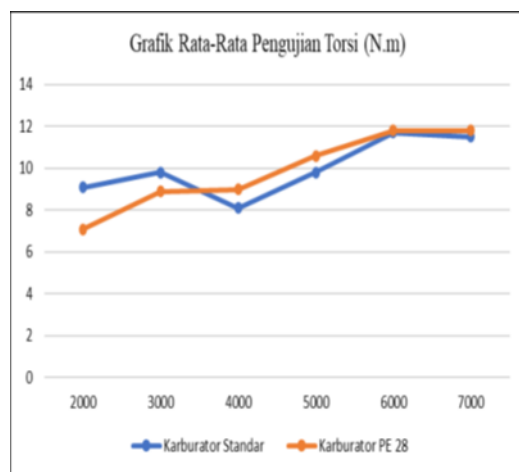


Figure 6. Torque test average

Based on the average graph above, the maximum torque tested using a standard carburetor at 6000 rpm engine speed is 11.7 N.m while the maximum torque tested using a PE 28 carburetor at 7000 rpm engine speed is 11.8 Nm.

The difference in power testing between vehicles using a standard carburetor and a PE 28 carburetor is that the average power of a vehicle using a PE 28 carburetor is higher than that of a standard carburetor and a tendency to increase engine speed from 4000 rpm to 7000 rpm. While the difference in torque testing is that vehicles using PE 28 carburetor have higher torque results than standard carburetor and the tendency is to increase from 4000 rpm to 7000 rpm.

Based on the graph of the average power and torque test results, using a standard carburetor the power at the lower engine speed is higher at 2.6 HP at 2000 rpm than the results obtained on the PE 28 carburetor, which is 2.0 HP at 2000 rpm. At engine speed, the maximum power obtained on the PE 28 carburetor is higher, namely 11.7 HP at 7000 rpm

compared to the standard carburetor with 11.3 HP at 7000 rpm. As for the torque results at lower engine speed, the torque results on the standard carburetor are higher, namely 9.1 N.m at 2000 rpm while the PE 28 carburetor is 7.1 N.m at 2000 rpm. Furthermore, at the top engine speed, the torque obtained on the PE 28 carburetor is further increased, namely the maximum torque of 11.8 N.m at 7000 rpm and on the standard carburetor 11.7 N.m at 6000 rpm. So the use of PE 28 carburetor produces maximum power and torque at top engine speed. While the standard carburetor results are more leverage at lower engine speed.

The use of the PE 28 carburetor has higher power and torque test results, this is because the PE 28 carburetor has a larger venturi hole and there is a change in the dimensions of the intake manifold, so that it can fog up more air and fuel to be brought into the combustion chamber or into the combustion chamber engine cylinder.

In the standard carburetor there is a rubber filter that is attached to the carburetor and leads to the air filter, where the function of the air filter is to filter dust or dirt that enters the carburetor when the carburetor is working. While in the PE 28 carburetor the rubber filter and air filter are removed, so when the engine is running and the carburetor is running its function it can suck in more air and mix it with fuel to be taken to the combustion chamber or into the engine cylinder.

1.3 Fuel

In general, fuel is a compound that contains hydrocarbon elements. Almost all types of fuel on the market come from petroleum which is then processed into various kinds and types of fuels, such as gasoline which is used to describe complex mixtures of various refined hydrocarbons from crude oils to be used as fuel in engines [12].

The calculation of fuel consumption is calculated based on the number of comparisons between the volume of fuel consumed and the time to spend the fuel as follows:

$Q = v \cdot t$ [2], in SI units, i.e:

Q = fuel consumption (ml/s)

t = time to spend fuel (s)

v = volume of fuel consumed (ml)

Table 3. Average Fuel Consumption Test Results (ml)

No	Engine Rotation (rpm)	Time (minute)	Standart Carburetor	PE 28 Carburetor
1	2000	5	50	70
2	3000	5	70	80
3	4000	5	90	100
4	5000	5	110	120
5	6000	5	130	140
6	7000	5	130	150

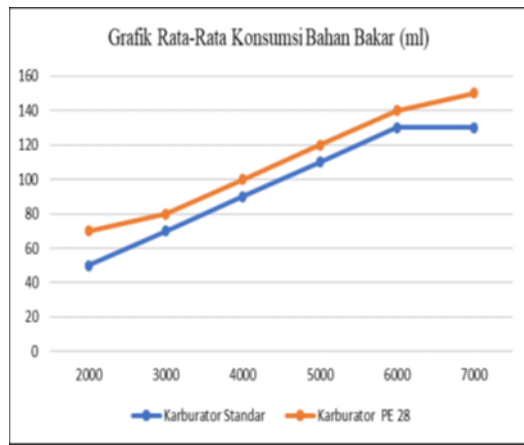


Figure 7. Average fuel consumption test

Based on the graph of the average results of fuel consumption above, the maximum test using a standard carburetor at 7000 rpm engine speed is 130 ml while the PE 28 carburetor at 7000 rpm engine speed is 150 ml. So in testing the fuel consumption using a standard carburetor and a PE 28 carburetor, the higher the rpm, the higher the fuel usage and from all test results, the use of a standard carburetor is more fuel efficient than the use of a PE 28 carburetor.

The conventional motorcycle fuel system generally consists of several components, including the gas tank, gasoline faucet, gasoline hose and carburetor. The carburetor is one of the important parts of a motor vehicle that functions to mix air and fuel, regulate the mixture ratio and control engine power.

The use of a PE 28 carburetor on a 4 stroke motorcycle greatly affects the amount of fuel consumption, this is because the PE 28 carburetor is a racing carburetor that is very suitable for those who want top speed, the PE 28 carburetor does not have an air filter like the standard carburetor which functions to filter dust or dirt. which will enter the carburetor, and this will also cause the PE 28 carburetor to be more fuel-intensive because it is not covered with air filter rubber. The advantage of the PE 28 carburetor is that it is able to improve engine performance because it has a different type of carburetor and there are changes in the dimensions of the venturi hole and intake manifold, so that it can fog up more air and fuel to be brought into the combustion chamber or into the engine cylinder.

4. Conclusions

Based on the results of the tests that have been carried out, the effect of replacing a standard carburetor with a PE 28 carburetor is a 3.5% increase in power at 7000 rpm on a 2006 Honda Tiger Revo motorcycle, as well as in the torsion test there is a 2.6% increase in torque at 7000 rpm. there is an increase in fuel consumption of 15.3%, more wasteful on the PE 28 carburetor because it has a larger venturi hole.

The solution found in replacing the Standard Carburetor with a PE 28 carburetor is that it can improve engine performance because the type of carburetor is different from the standard and there is a change in the dimensions of the venturi hole and intake manifold, so that it can fog up more air and fuel to be brought into the tank. combustion chamber

or into the engine cylinder, and the PE 28 blurator is more suitable for sport motorbikes because of the high power and torque generated.

5. Acknowledgments

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 and Bengkel Gede Widi Motor (DWM) for their support in completing this paper.

6. References

- [1] Aifustar. 2012. Motor Bakar. Aifustar.wordpress.com. Diakses tanggal 20 Januari 2021.
- [2] Arends, B.P.M. dan. Berenschot, H. 1980. Motor Bensin. Erlangga. Jakarta.
- [3] Astra Honda Motor. 2006. Sepeda Motor Sistem Bahan Bakar Konvensional.
- [4] B. Hidayat, Teknik Prawatan, Pemeliharaan dan Reperasi Sepeda Motor”, Yogyakarta, 2003.
- [5] Daryanto, “Teknik Reperasi dan Perawatan Sepeda Motor”, Jakarta: Bumi Aksara, 2005.
- [6] Haryono, “Uraian Praktis Mengenal Motor Bakar”, Semarang: Aneka Ilmu, 1997.
- [7] Kamat. 2013. Pengertian dan Fungsi Karburator. <https://kamatblog.wordpress.com>. Diakses tanggal 29 Januari 2021
- [8] Kristanto, P. 2015. Motor Bakar Torak Teori & Aplikasinya. Andi. Yogyakarta.
- [9] Prabowo, M. 2013. Pengertian Motor Bakar. <http://mprabowo19.blogspot.co.id>. Diakses tanggal 25 Januari 2021.
- [10] Prinata. 2014. Komponen Karburator. <http://arga-prinata.blogspot.co.id/2014/02/komponen-karburator-motor.html?1>. Diakses tanggal 30 Januari 2021.
- [11] Rokhman. 2013. Pengujian Daya dan Torsi. <https://taufiqurrokhman.wordpress.com>. Diakses tanggal 30 Januari 2021.
- [12] Saiful. 2016. Bahan Bakar Mesin Bensin. <http://dikasaiful.blogs.uny.ac.id/2016/05/24/bahan-bakar-mesin-bensin/>. Diakses tanggal 8 Februari 2021. “Two hundred Lidl stores to feature R290 technology by 2012”, 2011.
- [13] Suprayitno. 2016. Spesifikasi Honda Tiger 2000. <http://motortuo.blogspot.co.id/2016/02/spesifikasi-honda-tiger-2000-super.html>. Diakses Tanggal 12 Februari 2021. F-Gas Regulation shaking up the HVAC&R industry. October 2016; Brussels, Belgium
- [14] W. Arismunandar, “Penggerak Mula Motor Bakar Torak”, Bandung: ITB, 1983P, Hafner A, Cortella G. Multi-ejector R744 booster refrigerating plant and air conditioning system integration – A theoretical evaluation of energy benefits for supermarket applications. Int J Refrig 2017;75:164-76.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Analisis pekerjaan variation order pada proyek pembangunan gedung menara mandiri

Made Sudiarsa^{1*}, Ni Kadek Ayu Trisna Dewi¹, dan I Nyoman Sedana Triadi¹

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

*Email:sudiarsa@pnb.ac.id

Abstrak

Proyek konstruksi merupakan suatu kegiatan yang kompleks. Dalam pelaksanaannya, suatu proyek konstruksi memerlukan beberapa sumber daya yaitu seperti manusia, material, mesin, metode pelaksanaan, serta uang. Dimana kelima hal tersebut harus dipersiapkan dengan matang pada saat proses perencanaan sehingga saat dilaksanakan, proyek yang bersangkutan berjalan sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Namun pada kenyataannya, sering kali terdapat permasalahan-permasalahan yang tak terduga yang mengharuskan terjadinya suatu penambahan dan pengurangan item maupun volume pekerjaan. Dimana hal tersebut biasa disebut dengan pekerjaan *Variation order*. Adanya pekerjaan *Variation order* secara tidak langsung akan mengakibatkan terjadinya perubahan biaya serta jadwal pelaksanaan proyek. Sehingga diperlukan suatu kesepakatan antara pemilik proyek dan kontraktor mengenai pengajuan perubahan biaya serta waktu pelaksanaan proyek untuk menghindari terjadinya perselisihan antara owner dan kontraktor dengan cara melakukan analisa jenis item pekerjaan, nilai, serta dampak dari pekerjaan *Variation order* yang terjadi. Dimana nantinya harus diajukan dalam bentuk dokumen pengajuan kompensasi biaya dan waktu pekerjaan *Variation order* yang disahkan melalui rapat khusus yang dihadiri Owner, Konsultan QS, MK, serta Kontraktor. Seperti halnya dengan yang terjadi pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar. Dimana proyek ini mengalami banyak perubahan terkait penambahan serta pengurangan item maupun volume pekerjaan yang berdampak langsung kepada terjadinya perubahan kontrak proyek yang bersangkutan. Dimana terjadi sebanyak 16 jenis pekerjaan *Variation Order* dengan nilai yang didapat berdasarkan perhitungan dengan metode deskriptif kuantitatif sebesar Rp. 16.262.850. dengan nilai kontrak awalnya sebesar Rp. 75.700.000.000, sehingga berdampak pada terjadinya penambahan nilai kontrak menjadi Rp. 75.716.262.850 atau sama dengan penambahan 0,02% dari nilai kontrak awal.

Kata kunci: proyek konstruksi, nilai kontrak, urutan variasi, penambahan, pengurangan

Abstract: *Construction project is a complex activity. In its implementation, a construction project requires several resources, such as humans, materials, machines, methods, and money. Which is, these five things must be carefully prepared during the planning process so when implemented, the project runs according to the direction. But in reality, there are unexpected problems that require addition and subtraction of work items and volumes. Which is usually called by Variation order. Variation order will indirectly effect in changes of costs and project schedules. So, an agreement is needed between the owner and the contractor regarding the submission of changes to the cost and schedule to avoid disputes between the owner and contractor by analyzing the types of work items, values, and the impact of the Variation order. Later must be submitted by document for compensation about the cost and time of the Variation order which is ratified through a particular meeting attended by the Owner, QS Consultant, MK, and Contractor. As the same case with the Gedung Menara Mandiri Denpasar Project. Where, this project underwent many changes related to the addition and subtraction of items and volume that had a direct impact on changes in the contract project. Which is there are 16 types of Variation Order that occur with the value based on calculations using quantitative descriptive methods is Rp. 16,262,850. and the contract value is Rp. 75,700,000,000, resulting in an increase of contract value to Rp. 75,716,262,850 or equal to the addition of 0.02% from the initial contract value.*

Keywords: *construction project, contract value, variation order, addition, subtraction*

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Proyek konstruksi merupakan proses dimana rencana/desain dan spesifikasi para perencana dikonversikan menjadi struktur organisasi dan koordinasi dari semua sumberdaya proyek seperti tenaga kerja, peralatan, material, suplai dan

fasilitas, dana, teknologi, metode serta waktu untuk menyelesaikan proyek tepat waktu, sesuai dengan anggaran serta kualitas dan kinerja yang dispesifikasikan oleh perencana. [2]

Namun tak jarang dalam setiap pelaksanaan proyek konstruksi pasti saja terjadi kendala-kendala yang mengharuskan terjadinya perubahan pekerjaan sehingga rencana/ desain perencanaan tidak dapat dijalankan seutuhnya. Perubahan pekerjaan ini biasanya dalam bentuk penambahan serta pengurangan pekerjaan yang biasa disebut dengan *Variation order*. *Variation Order* merupakan hal yang sering terjadi dalam pelaksanaan proyek konstruksi gedung maupun sipil. *Variation Order* ini merupakan bentuk penyempurnaan design yang sudah ada di dalam sebuah kontrak pekerjaan. Secara singkat *Variation Order* dapat didefinisikan sebagai modifikasi dari original kontrak. *Variation Order* merupakan suatu kesepakatan antara pemilik dan kontraktor untuk menegaskan adanya perubahan-perubahan rencana dan jumlah kompensasi biaya kepada kontraktor yang terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi, setelah penandatanganan kerja antara pemilik dan kontraktor. [1]

Mengingat di setiap kegiatan proyek konstruksi pasti terjadi penambahan atau pengurangan pekerjaan, yang tidak jarang akan menimbulkan perselisihan antara pemberi tugas dan pelaksana pekerjaan, akibat adanya perbedaan persepsi mengenai kompensasi waktu, biaya, maupun mutu pekerjaan yang bersangkutan. Sehingga sangat penting untuk mempelajari bagaimana proses dan apa dampak dari adanya pekerjaan tambah kurang ini khususnya bagi pihak-pihak yang berkecimpung langsung di dunia konstruksi. Sama dengan halnya yang terjadi pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar ini yang mengalami banyak perubahan terkait penambahan dan pengurangan baik item pekerjaan maupun perubahan volume pekerjaannya yang berdampak langsung kepada nilai kontrak proyek yang bersangkutan. Dimana perubahan tersebut, akan penulis laporkan pada Laporan Tugas Akhir ini, dengan menganalisa penerapan pekerjaan *Variation Order* yang membahas mengenai nilai, proses, penyebab serta dampak dari Pekerjaan *Variation Order* yang terjadi pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar sehingga nantinya dapat menjadi referensi bagi pihak-pihak yang berkecimpung langsung di dunia konstruksi khususnya kontraktor pelaksana dalam menerapkan pekerjaan *Variation Order* di lingkungan proyeknya.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan literatur bagi instansi terkait dalam mempertimbangkan tindakan untuk melaksanakan pekerjaan *Variation order*. Serta dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan khususnya tentang pekerjaan *Variation order* bagi masyarakat umum. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: a). Apakah faktor dominan yang menyebabkan terjadinya pekerjaan *Variation order* pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar. b). Berapakah nilai pekerjaan *Variation order* yang terjadi pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar. c). Bagaimanakah dampak dari pekerjaan *Variation order* terhadap nilai kontrak pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar.

2. Metode

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini secara umum merupakan penelitian deskriptif kuantitatif karena analisa yang dibahas pada lapoan ini berupa perhitungan volume dan biaya terhadap pekerjaan *Variation Order*. Penelitian dilakukan dengan

mengidentifikasi apa saja item pekerjaan *Variation Order*, dan berapa besar nilai pekerjaan *Variation Order* serta bagaimana dampaknya terhadap kontrak awal proyek.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi yang diambil untuk melakukan penelitian ini adalah pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri yang beralamat di Jalan Surapati no 15-17, Denpasar, Bali. Penelitian ini dilakukan dari bulan Maret hingga Agustus 2021.

2.3 Jenis dan Sumber Data

2.3.1 Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan langsung di lapangan oleh orang yang melakukan penelitian. Data primer yang penulis gunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

- a. Harga satuan terdiri dari harga upah dan harga bahan didapat dari survey harga dan koordinasi dengan bagian pengadaan Proyek.
- b. Volume Pekerjaan *Variation Order*

2.3.2 Data Sekunder

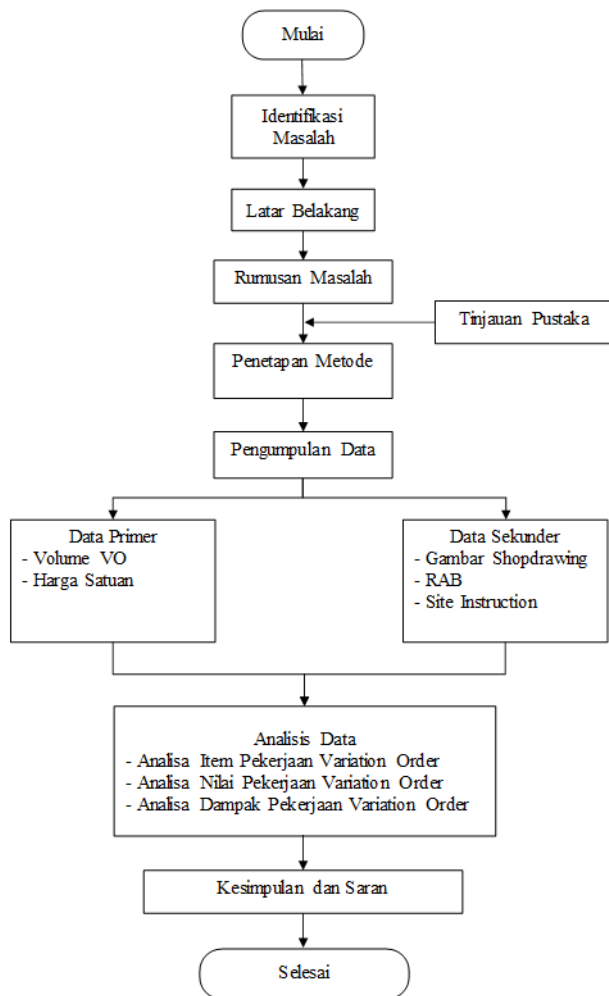
Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh orang yang melakukan penelitian dari sumber-sumber yang telah ada. Data sekunder yang dibutuhkan berupa:

- a. Gambar Shopdrawing,
- b. RAB, yang meliputi item pekerjaan & volume kontrak
- c. Surat Perintah Perubahan Pekerjaan/*Site Instruction*.

2.4 Analisis Data

- a. Analisa jenis pekerjaan tambah kurang (*Variation Order*) dengan mengidentifikasi isi surat perintah perubahan pekerjaan (SI) dan juga melalui perubahan gambar yang tertera pada gambar shopdrawing.
- b. Analisa perubahan volume pekerjaan tambah kurang (*Variation Order*) melalui perhitungan terhadap pekerjaan *Variation Order* dengan menggunakan calculation sheet.
- c. Analisa harga satuan pekerjaan tambah kurang (*Variation Order*) diluar item pekerjaan yang tertera pada RAB dilakukan melalui survey kepada supplier dan berkoordinasi dengan bagian pengadaan proyek.
- d. Analisa nilai pekerjaan tambah kurang (*Variation Order*) didapat dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan.
- e. Analisa dampak pekerjaan tambah kurang (*Variation Order*) dengan merekapitulasi besaran nilai pekerjaan tambah kurang (*Variation Order*) secara keseluruhan dan mengidentifikasi pengaruhnya terhadap nilai kontrak awal.

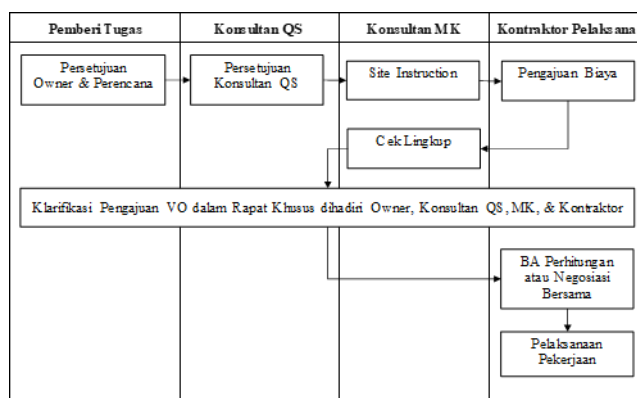
2.5 Bagan Alir Penelitian



3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tahapan Pekerjaan Variation Order

Berikut merupakan alur pekerjaan Variation order sesuai dengan SOP Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar, sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Pekerjaan Variation Order

Berdasarkan bagan alur diatas, tahapan terjadinya pekerjaan Variation Order atau yang lebih dikenal dengan pekerjaan tambah kurang adalah sebagai berikut:

- Adanya rekomendasi dari pemberi tugas untuk mengadakan perubahan pekerjaan, yang bisa diakibatkan karena adanya kendala di lapangan maupun

memang keinginan langsung dari si pemberi tugas, yang dalam hal ini bisa owner, konsultan, maupun kontraktor.

- Pemberi tugas akan meminta persetujuan owner dan perencana yang kemudian akan dianalisa oleh konsultan QS mengenai rencana perubahan biaya maupun waktu.
- Konsultan MK akan membuat Site Instruction (SI) untuk pekerjaan VO yang telah disetujui sebelumnya. SI ini berguna sebagai dasar kontraktor melaksanakan pekerjaan di lapangan.
- Kontraktor akan membuat perhitungan detail untuk item pekerjaan yang dimuat dalam SI, terkait pengajuan kompensasi biaya dan waktu proyek.
- Kontraktor mengajukan untuk diadakan rapat khusus untuk membahas pengajuan biaya VO yang dihadiri Owner, konsultan QS, Konsultan MK, dan Kontraktor.
- Hasil rapat khusus akan dimuat dalam dokumen Berita Acara Perhitungan atau Negosiasi Bersama yang isinya tentang persetujuan kompensasi biaya dan waktu.
- Setelah penandatanganan BA Perhitungan, maka kontraktor segera melakukan pekerjaan VO yang bersangkutan.

3.2 Penyebab Pekerjaan Variation Order

Berikut adalah daftar penyebab pekerjaan Variation order (VO) pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri Denpasar:

Tabel 1. Faktor Penyebab Variation Order

No.	Site Instruction (SI)	Penyebab
1	SI No. 01/SP3/BM/XI/20	Permintaan pemberi tugas
2	SI No. 03/SP3/BM/XII/20 & SI No. 15/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas
3	SI No. 05/SP3/BM/I/21	Permintaan pemberi tugas
4	SI No. 10/SP3/BM/III/20	Penyesuaian Kondisi lapangan
5	SI No. 13/SP3/BM/III/20	Permintaan pemberi tugas
6	SI No. 21/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas
7	SI No. 16/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas
8	SI No. 04/SP3/BM/XII/20 & SI No. 08/SP3/BM/II/21	Permintaan pemberi tugas
9	SI No. 11/SP3/BM/III/21	Kebutuhan operasional bank mandiri
10	SI No. 12/SP3/BM/III/21	Permintaan pemberi tugas.
11	SI No. 14/SP3/BM/III/21	Permintaan pemberi tugas
12	SI No. 20/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas
13	SI No.19/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas
14	SI No. 9/SP3/BM/III/21	Permintaan pemberi tugas
15	SI No. 17/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas
16	SI No. 22/SP3/BM/IV/21	Permintaan pemberi tugas

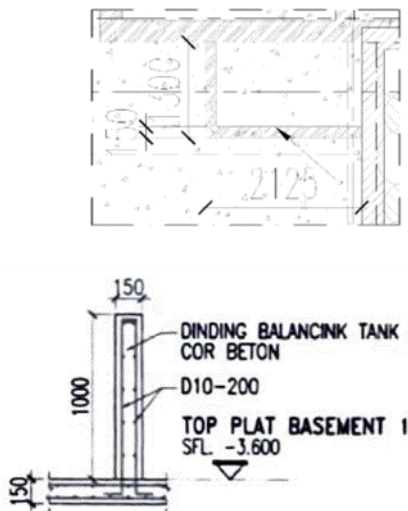
Berdasarkan table di atas, faktor dominan penyebab terjadinya pekerjaan *Variation order* pada proyek ini adalah rekomendasi atau permintaan langsung dari Pemberi Tugas. Dimana terdapat 14 Site Instruction dari total 16 Site Instruction disebabkan karena adanya permintaan pemberi tugas yang dalam hal ini adalah Owner dan Konsultan Perencana.

3.3 Analisa Volume Pekerjaan Variation Order

3.3.1 Pekerjaan Dinding Balancing Tank (SI No.01)

Pekerjaan Tambah

1. Beton bertulang mutu $f_c' = 35$ Mpa sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis.



Gambar 2. Denah Dinding dan Potongan *Balancing Tank*

Perhitungan volume seperti pada tabel dibawah:

Tabel 2. Perhitungan Volume Beton *Balancing Tank*

Panjang (m')	Tinggi (m')	Tebal (m')	Volume (m ³)
3,43	1,00	0,15	0,51
Total			0,51

2. Penulangan beton baja tulangan $f_y=420$ Mpa; termasuk pemotongan, pembengkokan, pemasangan dan bahan serta alat bantu; sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis dengan gambar dan spesifikasi teknis.



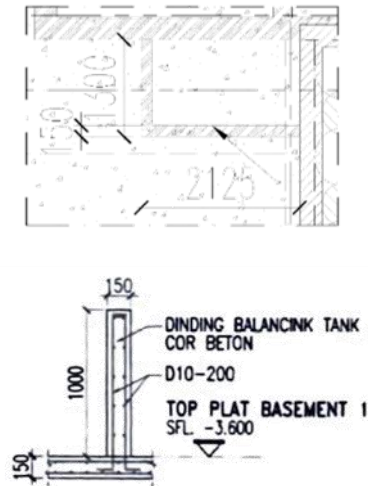
Gambar 3. Detail Penulangan Dinding *Balancing Tank*

Perhitungan volume seperti pada tabel dibawah:

Tabel 3. Perhitungan Volume Tulangan *Balancing Tank*

Item Pekerjaan	Jumlah Tul. (Unit)	Panjang Tul. (m')	Total (m')	Volume (kg)
Besi Vertikal	17	7,85	134,43	82,94
Besi Horizontal	5	2,52	12,61	7,78
Total			82,94	

3. Cetakan dan acuan beton; bekisting plywood dengan kekuatan dan aksesorisnya, sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis



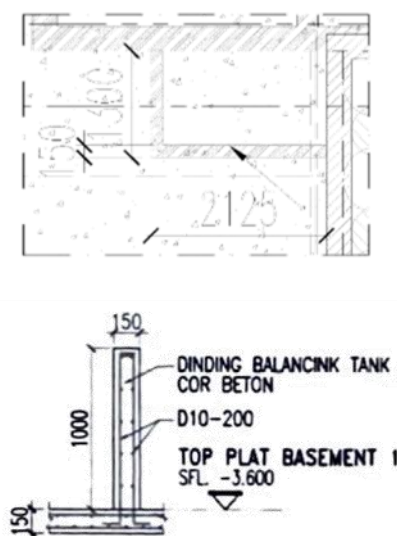
Gambar 4. Denah dan Potongan Dinding *Balancing Tank*

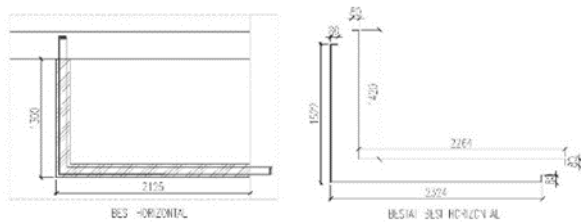
Perhitungan volume seperti pada tabel dibawah:

Tabel 4. Perhitungan Volume bekisting Dinding

Panjang (m)	Tinggi (m)	Total (m ²)
6,55	1,00	6,55
Total		6,55

4. Pekerjaan integral waterproofing; sesuai dengan Gambar dan spesifikasi teknis



**Gambar 5.** Denah dan Potongan Dinding Blancing Tank

Perhitungan volume seperti pada tabel dibawah:

Tabel 5. Perhitungan Volume Integral Dinding

Panjang (m')	Tinggi (m')	Tebal (m')	Volume (m3)
3,43	1,00	0,15	0,51
Total			0,51

Pekerjaan Kurang

Tabel 7. Rekapitulasi Biaya Pekerjaan VO Balancing Tank

No.	Uraian Pekerjaan	Unit	Qty	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.1	Pekerjaan Tambah				
1.1.1	Beton bertulang mutu $f_c' = 35$ Mpa sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis.	m ³	0,51	899.170	461.949
1.1.2	Penulangan beton; baja tulangan $f_y = 420$ Mpa; termasuk pemotongan, pembengkokan, pemasangan dan bahan serta alat bantu; sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis	kg	82,94	9.265	768.477
1.1.3	Cetakan dan acuan beton; bekisting plywood dengan kekuatan dan aksesorisnya, sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis	m ²	6,55	98.760	646.878
1.1.4	Pekerjaan integral waterproofing; sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis	m ³	0,51	96.738	49.699
Sub Total Pekerjaan Tambah Rp.					1.927.002,65
1.2	Pekerjaan Kurang				
1.2.1	Pekerjaan plester aci, tebal plester $\pm 10-15$ mm pada bata ringan, pemasangan bata ringan memakai thinbed mortar tebal ± 3 mm, tebal aci permukaan dinding $\pm 2-3$ mm, produk: Drymix, Power bond, MU, Leichtmix dipasang sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis	m ²	(2,13)	50.640	(107.610)
Sub Total Pekerjaan Kurang Rp.					(107.610)
Total Pekerjaan Tambah/Kurang Rp.					1.819.392,65

Perhitungan Nilai Variation Order untuk Site Instruction yang lain berupa hasil rekapitulasi akhir, dimana berdasarkan hasil perhitungan, didapat hasil rekapitulasi pekerjaan Variation order sebagai berikut:

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Pekerjaan Variation Order

No.	Nama Pekerjaan	Nilai Pekerjaan Tambah/Kurang
1	Pekerjaan tambah dinding <i>balancing tank</i>	1.819.393,00
2	Pekerjaan kurang pekerjaan arsitektur karena perubahan layout di Lt1, Lt2, Lt3	(91.330.025,00)
3	Pekerjaan tambah finishing bale kul - kul	81.889.549,00
4	Pekerjaan tambah pekerjaan Fasade Kaca Lantai 3	4.385.574,00
5	Pekerjaan tambah automatic door (entrance door)	9.068.436,00
6	Pekerjaan kurang pagar telanjakan area luar	(414.137.266,00)

1. Pekerjaan plester aci, tebal plester $\pm 10-15$ mm pada bata ringan, pemasangan bata ringan memakai thinbed mortar tebal ± 3 mm, tebal aci permukaan dinding $\pm 2-3$ mm, produk: Drymix, Power bond, MU, Leichtmix dipasang sesuai dengan gambar dan spesifikasi teknis.

Perhitungan volume seperti pada tabel dibawah:

Tabel 6. Perhitungan Volume Plester Aci Dinding

Panjang (m')	Tinggi (m')	Volume (m2)
(2,125)	1,00	(2,125)
Total		(2,125)

3.4 Nilai Pekerjaan Variation Order

3.4.1 Pekerjaan Dinding Balancing Tank (SI No.01)

7	Pekerjaan tambah ruang ATM lantai dasar	40.293.303,00
8	Pekerjaan tambah ME karena perubahan layout di Lt1, Lt2, Lt3	415.594.899,00
9	Pekerjaan tambah terkait IT	34.648.264,00
10	Pekerjaan tambah roof drain dan canopy lantai 2	11.847.900,00
11	Pekerjaan tambah instalasi me area strong room	2.958.500,00
12	Pekerjaan tambah me ruang atm Lt. Dasar	25.267.650,00
13	Pekerjaan kurang equipment CCTV (kamera intai)	(6.647.371,00)
14	Pekerjaan tambah kaca intip & grill pada pintu besi	14.960.000,00
15	Pekerjaan tambah pekerjaan plafond area ruang it	24.577.066,00
16	Pekerjaan tambah pondasi pagar sisi timur dan selatan	11.066.978,00
Total pekerjaan tambah Rp.		16.262.850,00

3.1. Dampak Pekerjaan Variation order

Adanya pekerjaan Variation order pada Proyek Pembangunan Gedung Menara Mandiri ini mengakibatkan adanya dampak terhadap penambahan biaya yakni berdasarkan hasil perhitungan pekerjaan Variation order yang terdiri dari 16 jenis item pekerjaan, terjadi pekerjaan tambah sebesar Rp. 16.262.850. Adapun dengan nilai kontrak awal yang tercantum pada RAB adalah sebesar Rp. 75.700.000.000. Sehingga persentase pengaruh pekerjaan VO ini terhadap nilai kontrak awal adalah sebagai berikut :

$$(Rp\ 16.262.850)/(Rp\ 75.700.000.000)\% = 0,02\ \%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, adanya pekerjaan Variation Order pada proyek ini, menyebabkan penambahan nilai sebesar 0,02% dari nilai kontrak awal.

4. Kesimpulan

Faktor dominan yang menyebabkan terjadinya pekerjaan Variation order pada proyek Proyek Gedung Menara Mandiri Denpasar adalah rekomendasi atau permintaan langsung dari Owner dan Konsultan Perencana yakni terdapat sebanyak 14 Site Instruction dari total keseluruhan sebanyak 16 Site Instruction. Dengan hasil perhitungan dari 16 Site Instruction yang disetujui, didapat hasil rekapitulasi pekerjaan Variation order yang terjadi pada Proyek Gedung Menara Mandiri Denpasar ini sebesar Rp. 16.262.850. Sehingga adanya pekerjaan Variation order pada Proyek Gedung Menara Mandiri Denpasar ini berdampak pada terjadinya penambahan nilai kontrak yakni sebesar 0,02 % dari kontrak awal.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak akan berhasil tanpa bantuan dan pengarahan dari berbagai pihak, maka dari itu dengan segala

kerendahan hati dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sedalam - dalamnya kepada Politeknik Negeri Bali, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali, Kontraktor Pelaksana serta semua pihak yang ikut memberikan bantuan serta dukungan moril kepada penulis dalam proses penyusunannya

Daftar Pustaka

- [1] Nurmala, Ade. 2015. *Penyebab dan Dampak Variation order (VO) Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi*. pp. 63-77.
- [2] Khamim, Moch. 2019. Analisis Penyebab Adendum dan Pengaruhnya Terhadap Efektivitas Sasaran Proyek Pembangunan Gedung di Kota Malang. Vol 12, pp. 8-15, Feb.
- [3] Fitriyono, Febrian. 2016. Kajian Contract Change Order pada Proyek Pembangunan Gedung SMA Keberbakatan Olahraga di Minahasa.
- [4] Ariani, Vivi. 2016. Pengaruh Pekerjaan Tambah Kurang Terhadap Kinerja Proyek Konstruksi (Studi Kasus : Kantor Bupati Kabupaten Lima Puluh Kota).
- [5] Rahayu, Desi Dwi. 2016. Analisis Keterlambatan Proyek Konstruksi Akibat Pengelolaan Shopdrawing.
- [6] Musmawati, Ema. 2020. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (Rab) serta Proses Pelelangan Pada Proyek Pembangunan Jembatan Wanarata Pemalang.
- [7] Erfianto, Wulfram I. 2005. Spesifikasi dalam Proyek Konstruksi.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Analisa perpindahan panas melalui selubung bangunan menggunakan aplikasi coolpack

Luh Putu Ike Midiani^{1*}, I Wayan Adi Subagia², I Kadek Dwiana³ dan I Putu Merta Adnyana³

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

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

³Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

*Email: putuikemidiani@pnb.ac.id

Abstrak

Dalam sebuah bangunan, kenyamanan termal penghuni, efisiensi energi, dan pembangunan berkelanjutan merupakan syarat yang harus terpenuhi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengontrol perpindahan panas dan mengelola aliran panas dalam hunian tersebut. Selubung bangunan dengan kinerja termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan untuk pemanasan dan pendinginan serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Oleh karena itu, parameter termodinamika selubung bangunan merupakan informasi penting untuk simulasi energi bangunan dan meningkatkan efisiensi energi bangunan yang ada. Penelitian ini menganalisis kinerja termal dinding bangunan dan konsumsi energi bangunan dengan menggunakan aplikasi coolpack. Pengetahuan tentang konduktifitas termal bahan, temperatur lingkungan, dan pemilihan ketebalan dinding menjadi dasar untuk merancang selubung bangunan yang benar. Desain selubung yang baik atau pemasangan insulasi termal yang baik dan benar akan menjamin kinerja termal yang baik, mengurangi polusi dan biaya energi yang rendah yang dibutuhkan untuk memanaskan dan mendinginkan bangunan. Aplikasi coolpack mengevaluasi distribusi temperatur di dinding dan menghitung ketahanan termal lapisan, koefisien perpindahan panas keseluruhan dan laju aliran panas.

Kata kunci: perpindahan panas, selubung bangunan, coolpack

Abstract: In a building, thermal comfort of occupants, energy efficiency, and sustainable development are requirements that must be met. This can be done by controlling heat transfer and managing heat flow in the dwelling. Building envelopes with good thermal performance can reduce energy consumption used for heating and cooling and increase the energy efficiency of buildings. Therefore, the thermodynamic parameters of the building envelope are important information for simulating building energy and improving the energy efficiency of existing buildings. This study analyzes the thermal performance of building walls and building energy consumption using the coolpack application. Knowledge of the material's thermal conductivity, ambient temperature, and selection of wall thickness forms the basis for designing the correct building envelope. A good enclosure design or proper installation of thermal insulation will ensure good thermal performance, reduced pollution and low energy costs required to heat and cool buildings. The coolpack app evaluates the temperature distribution on the wall and calculates the thermal resistance of the coating, overall heat transfer coefficient and heat flow rate.

Keywords: heat transfer, building envelope, coolpack

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Dalam sebuah bangunan, kenyamanan termal penghuni, efisiensi energi, dan pembangunan berkelanjutan merupakan syarat yang harus terpenuhi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengontrol perpindahan panas dan mengelola aliran panas dalam hunian tersebut. Dengan mengontrol dan mengelola aliran panas akan mengurangi konsumsi energi, menghemat sumber daya, dan mengurangi polusi dan emisi CO₂ ke lingkungan [1, 2].

Konsumsi energi untuk pemanasan dan pendinginan ruang mewakili sekitar 60% dari seluruh konsumsi energi di gedung-gedung, dan itulah sebabnya, penghematan energi untuk pemanasan dan pendinginan ruang dalam ruangan akan menyebabkan pengurangan yang signifikan dari

seluruh konsumsi energi, yang juga akan menghasilkan dalam pengurangan emisi gas rumah kaca [3].

Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa, iklim memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi. Bangunan baru harus dirancang dengan bahan yang lebih disesuaikan dengan iklim untuk mengurangi kebutuhan energi pemanasan atau pendingin. British Petroleum (BP), "Inter-governmental Panel on Climate Change" (IPCC), dan "International Energy Agency" (IEA) mengklasifikasikan bangunan, pertanian, industri, dan transportasi, sebagai sektor konsumsi energi utama di seluruh dunia. Komisi Eropa Dalam strategi jangka panjang akan mendekarbonisasi sektor konstruksi, sehingga UE memiliki bangunan nol karbon pada tahun 2050. Manfaat dekarbonisasi bangunan adalah kesehatan, pekerjaan,

tagihan energi yang lebih rendah, dan penghematan biaya sistem [4, 5].

Selubung bangunan (terdiri dari dinding, lantai, jendela, pintu, langit-langit, dll), merupakan komponen penting dari setiap bangunan. Selubung bangunan memisahkan bagian dalam dari luar dan memungkinkan perpindahan panas di dalam atau di luar, memiliki dampak penting pada konsumsi energi karena memiliki peran penting dalam mengatur tingkat termal dalam ruangan, mengendalikan aliran energi (hilang atau diterima) antara bagian dalam dan bagian luar bangunan. Selubung bangunan harus meminimalkan kehilangan panas musim dingin dan perolehan panas musim panas dalam proporsi yang lebih besar.

Selubung bangunan dengan kinerja termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan untuk pemanasan dan pendinginan serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Oleh karena itu, parameter termodinamika selubung bangunan merupakan informasi penting untuk simulasi energi bangunan dan meningkatkan efisiensi energi bangunan yang ada.

Membangun sebuah bangunan harus memperhatikan kehilangan panas melalui selubung bangunan. Selubung bangunan dengan kinerja termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan untuk pemanasan dan pendinginan serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Pada bangunan yang lebih tua, efisiensi energi dapat ditingkatkan dengan menambahkan insulasi pada dinding luarnya [6]. Untuk mencapai insulasi yang optimal, perhitungan harus dilakukan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas keseluruhan dan aliran panas yang ditransmisikan melalui masing-masing dinding, sebelum dan sesudah penambahan insulasi.

Kinerja termal dan ketebalan bahan yang digunakan dalam konstruksi memainkan peran penting dalam mengatur kehilangan dan perolehan panas bangunan. Karakteristik termal dan massa dinding eksterior berhubungan dengan bahan konstruksi dari mana dinding tersebut dibuat, karakteristik elemen konstruksi yang membentuk lapisan, dan penempatannya. Bahan konstruksi dengan kapasitas insulasi termal yang tinggi akan mengurangi jumlah energi yang dikonsumsi oleh bangunan dalam tahap penggunaan, meminimalkan kehilangan panas dan perolehan panas.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja termal dinding bangunan dan konsumsi energi bangunan dengan menggunakan aplikasi coolpack.

2. Metode dan Bahan

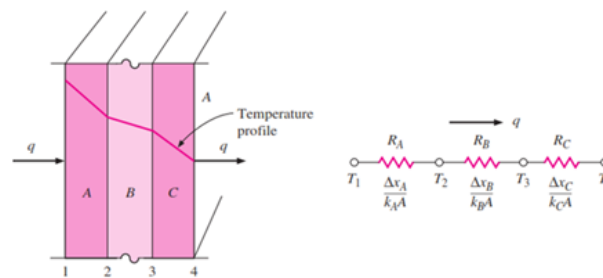
Analisa kehilangan panas pada sebuah bangunan dilakukan dengan mengimplementasikan model matematika untuk mengevaluasi perpindahan panas secara keseluruhan melalui selubung bangunan.

Evaluasi perpindahan panas yang dilakukan pada penelitian ini merupakan perpindahan panas keadaan stabil (steady state). Aliran panas yang melalui dinding sangat bergantung pada perbedaan temperatur permukaan dinding, konduktivitas termal bahan yang digunakan, dan ketebalannya. Perbedaan temperatur merupakan faktor yang bergantung pada lingkungan, sedangkan ketebalan dan konduktivitas adalah karakteristik material. Bahan yang lebih besar tebal menyebabkan aliran panas yang lebih rendah, menyatakan bahwa konduktivitas rendah.

Tahanan termal sebanding dengan ketebalan dinding dan berbanding terbalik dengan konduktivitas termalnya. Dengan demikian, dinding bangunan dengan ketahanan termal yang tinggi adalah isolator yang baik, dan dinding dengan ketahanan termal yang rendah adalah isolator yang lemah.

Perpindahan panas melalui dinding bangunan dimodelkan sebagai keadaan steady satu dimensi. Diasumsikan temperatur dinding hanya bervariasi dalam satu arah normal pada permukaan dinding yaitu arah x dinyatakan $T(x)$, perbedaan temperatur melintasi dinding $\Delta T = T_i - T_e$, ketebalan dinding $X = X_i$, dan luas permukaan A .

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi aliran panas satu dimensi pada dinding berlapis tanpa pembangkit energi dan analog listrik. Perpindahan panas tersebut merupakan perpindahan panas pada dinding berlapis yang dipisahkan oleh dua fluida dengan temperatur yang berbeda. Panas dipindahkan dari sisi fluida panas ke arah fluida dingin, dan temperatur merupakan fungsi dari ketebalan x dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Berdasarkan Gambar 1, dinyatakan bahwa proses termal tersebut adalah : perpindahan panas konveksi dari fluida panas ke dinding, perpindahan panas secara konduksi melalui lapisan dinding, dan perpindahan panas konveksi dari dinding ke fluida dingin.



Gambar 1. Perpindahan panas pada dinding berlapis dan analog listrik [7]

Perpindahan panas satu dimensi keadaan steady melalui dinding tanpa pembangkitan panas internal, perpindahan panasnya adalah [8, 9]:

$$Q = q \cdot A \quad (W) \quad (1)$$

dimana :

q = laju perpindahan panas (W/m^2)

A = luas permukaan dinding (m^2)

Untuk dinding berlapis dengan struktur yang berbeda dan tanpa sumber panas internal, laju perpindahan panas dinyatakan sebagai berikut :

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R_i} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{T_i - T_e}{R_{total}} \quad (W/m^2) \quad (2)$$

dimana :

ΔT = beda temperatur (K)

R_{total} = luas permukaan dinding ($m^2 K/W$)

Beda temperatur pada dua permukaan sisi dinding maka koefisien perpindahan panas total, U [8]:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (W/m^2) \quad (3)$$

Perpindahan panas melintasi antarmuka cairan / padat didasarkan pada hukum Newton:

$$Q_{conv} = h_{ci} \cdot A \cdot (T_i - T_e) = A \cdot \frac{(T_i - T_e)}{R_{conv}} \quad (W) \quad (4)$$

Persamaan Fourier, untuk konduksi keadaan tunak melalui setiap bahan lapisan dinding, dapat ditulis :

$$Q_{cond} = k_1 \cdot A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{x_1} = A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{x_1}{k_1}} = A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{R_{wall,1}} \quad (W) \quad (5)$$

Resistansi termal pada dinding multilayer merupakan penjumlahan resistansi perpindahan panas konduksi masing-masing dinding dan resistansi perpindahan panas konveksi, yang ditulis sebagai berikut :

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{ci}} \quad (m^2 K/W) \quad (6)$$

$$R_{wall,1} = \frac{x_1}{k_1} \quad (m^2 K/W) \quad (7)$$

Untuk dinding multilayer karena lapisan bahan yang berbeda dengan sifat fisik dan termal yang berbeda (ketebalan dan konduktivitas termal) sering digunakan koefisien perpindahan panas keseluruhan U.

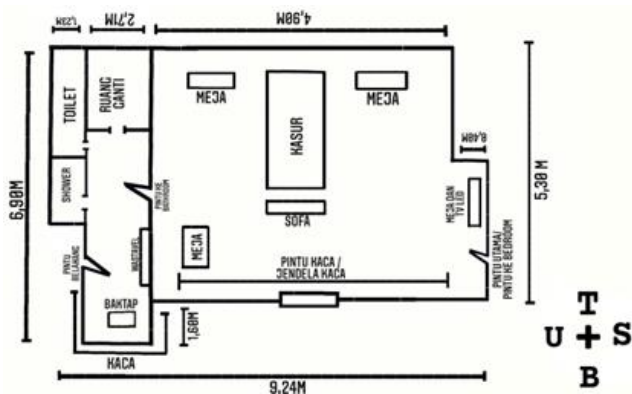
Dinding bangunan dapat disusun oleh beberapa lapisan struktural dan isolasi dari bahan yang berbeda, dan dalam hal ini kasus koefisien perpindahan panas keseluruhan U diberikan sebagai :

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_{conv,i} + R_{cond,1} + R_{cond,2} + R_{conv,e}} \quad (W/m^2 K) \quad (8)$$

Jika pada dinding terdapat jendela, pintu, dll., maka koefisien perpindahan panas keseluruhan U, diperoleh dengan menggunakan nilai U individu dan luas permukaan masing-masing sebagai berikut :

$$U = \frac{(U_{wall} \cdot A_{wall} + U_{door} \cdot A_{door} + U_{window} \cdot A_{window})}{A_{total}}$$

Denah bangunanyang akan dianalisis perpindahan termalnya ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Denah bangunan

Kriteria bahan dan dimensi bangunan pada Gambar 2 adalah sebagai berikut :

2.1. Ukuran Ruang

Luas ruang : $9,24 \times 6,90 = 64 \text{ m}^2$

Tinggi : $2,60 \text{ m}$

2.2. Beban pendinginan terdiri dari :

a. Penghuni = 2 orang

b. Lampu LED = $16 \times 5 \text{ Watt} = 80 \text{ W}$

c. TV Led = 1 unit = 100 Watt

d. Kipas Angin = 70 Watt

2.3. Spesifikasi Dinding :

2.3.1. Dinding 1

Paras Jogja - plester - bata - plester - traso

Luas = $6,90 \times 2,60 = 18 \text{ m}^2$

Pintu = $2,60 \times 0,8 = 2,08 \text{ m}^2$

Luas dinding 1 - luas pintu = $18 - 2,08 = 15,92 \text{ m}^2$

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.3.2. Dinding 2

Paras Jogja - plester - bata - plester - traso

Luas = $9,24 \times 2,60 = 24 \text{ m}^2$

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.3.3. Dinding 3

Paras Jogja - plester - bata - plester - traso

Luas = $5,30 \times 2,60 = 13,78 \text{ m}^2$

Pintu = $2,60 \times 0,8 = 2,08 \text{ m}^2$

Luas wall 3 - luas pintu = $13,78 - 2,08 = 11,7 \text{ m}^2$

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.3.4. Dinding 4

Full kaca

Luas = $9,24 \times 2,60 = 24 \text{ m}^2$

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.4. Spesifikasi Lantai :

Beton + kayu

$k_{beton} = 1,13 \text{ W/m.K}$, $x_{beton} = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$

$k_{kayu} = 1,35 \text{ W/m.K}$, $x_{kayu} = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

2.5. Spesifikasi Atap:

Beton + gypsum

$k_{beton} = 1,13 \text{ W/m.K}$, $x_{beton} = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$

$k_{gypsum} = 0,18 \text{ W/m.K}$, $x_{gypsum} = 9 \text{ mm} = 0,009 \text{ m}$

2.6. Menghitung U value:

2.6.1. Dinding 1

$$U = \frac{1}{R_i + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{x_5}{k_5} + R_o}$$

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,05}{0,77} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,1}{0,56} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,02}{1,3} + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,46}$$

$$= 2,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

$$U \text{ Value pintu kaca} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,03}{5,1} + 0,04} = \frac{1}{0,17}$$

$$= 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U \text{ rata-rata} = \frac{((A_{\text{wall}} \times U_{\text{wall}}) + (A_{\text{Door}} \times U_{\text{Door}}))}{(A_{\text{total}})}$$

$$= \frac{((15,92 \times 2,1) + (2,08 \times 5,8))}{(18)} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.2. Dinding 2

U Value dinding

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,05}{0,77} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,1}{0,56} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,02}{1,3} + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,46} = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.3. Dinding 3

U Value dinding

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,05}{0,77} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,1}{0,56} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,02}{1,3} + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,46} = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U \text{ Value pintu kayu} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,03}{3} + 0,04} = \frac{1}{0,18}$$

$$= 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U \text{ rata-rata} = \frac{((11,7 \times 2,1) + (2,08 \times 5,5))}{(13,78)} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.4. Dinding 4

$$U \text{ Value kaca} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{5,1} + 0,04}$$

$$U = \frac{1}{0,17} = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.5. Lantai

$$U \text{ Value lantai} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,2}{1,13} + \frac{0,05}{3} + 0,04} = \frac{1}{0,40}$$

$$= 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.4. Atap

$$U \text{ Value Cieling} = \frac{1}{0,10 + \frac{0,2}{1,13} + \frac{0,009}{0,18} + 0,04} = \frac{1}{0,36}$$

$$= 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{Wall 4} = A_{\text{win}} = 9,24 \times 2,60 = 24 \text{ m}^2$$

Q_{win} (wall 4 jendela menghadap ke barat)

$Q_{\text{win}} = \text{solar intensity} \times \text{solar radiation factor} \times \text{luas jendela kaca}$

$$= 144,58 \times 0,52 \times 24 \text{ m}^2 = 1,804 \text{ W/m}^2$$

Solar Intensity dan Solar Heat Gain Factor

Posisi Jendela Kaca	Solar Radiation Factor melalui Kaca	Solar Intensity (W/m ²)	Solar Transmission Factor
Utara	0.48	43.24	1.04
Timur Laut	0.13	96.14	1.34
Timur	0.11	144.58	1.45
Tenggara	0.14	131.50	1.45
Selatan	0.22	79.38	1.16
Barat Daya	0.52	131.57	1.45
Barat	0.52	144.58	1.45
Barat Laut	0.47	96.14	1.34

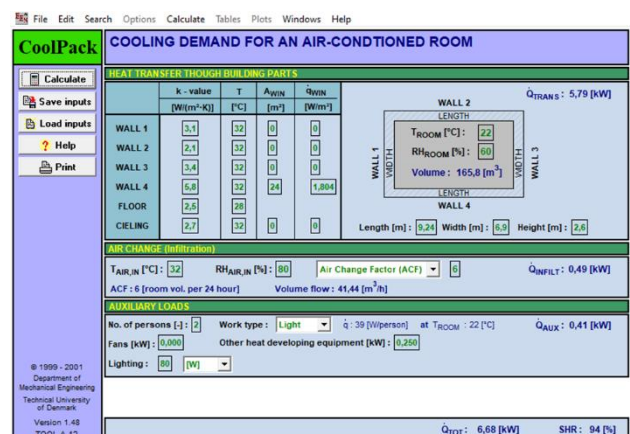
Gambar 3. Solar Heat Gain [10]

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis perpindahan panas pada bangunan seperti pada Gambar 2 dilakukan dengan menggunakan aplikasi coolpack. Aplikasi coolpack dapat melakukan analisis perpindahan panas melalui dinding bangunan satu lapisan ataupun multilayer yang memiliki beberapa lapisan yang berbeda.

Data yang diinput pada aplikasi coolpack untuk menganalisis perpindahan panas ke dinding dapat dilihat pada Gambar yaitu:

- Temperatur dalam dan luar ruangan yang mengelilingi dinding;
- Karakteristik material (konduktivitas termalnya) untuk setiap lapisan dan lebarnya;
- Koefisien konveksi untuk udara dalam dan luar ruangan;
- Luas permukaan dinding.



Gambar 4. Aplikasi Coolpack

Dengan memasukkan semua parameter yang telah dihitung pada aplikasi didapatkan:

$$Q_{\text{tot}} = 6,68 \text{ kW}$$

$$= 6,68 \text{ kW} \times 3,412 = 23,000 \text{ Btu/h}$$

Perhitungan daya dan cooling untuk luas ruangan total 64 m² maka AC existing yang terpasang sebesar 2,5 PK =

24.000 Btu/h. Dengan total beban pendinginan (Cooling) yakni 6,68 kW atau 23.000 Btu/h. Dari hasil tersebut 6,68 kW dibagi dengan 2,625 kW (Cooling AC 1 PK) maka AC yang akan digunakan adalah 2,5 PK.

4. Kesimpulan

Pengetahuan tentang konduktifitas termal bahan, temperatur lingkungan, dan pemilihan ketebalan dinding menjadi dasar untuk merancang selubung bangunan yang benar. Desain selubung yang baik atau pemasangan insulasi termal yang baik dan benar akan menjamin kinerja termal yang baik, mengurangi polusi dan biaya energi yang rendah yang dibutuhkan untuk memanaskan dan mendinginkan bangunan. Aplikasi coolpack dapat digunakan untuk menganalisis perpindahan panas melalui selubung bangunan.

Untuk menghitung perpindahan panas di dinding bangunan diasumsikan laju perpindahan panas konstan. Aplikasi coolpack mengevaluasi distribusi temperatur di dinding dan menghitung ketahanan termal lapisan, koefisien perpindahan panas keseluruhan dan laju aliran panas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis dapat menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan atau dukungan dari teman sejawat, atau teknisi yang telah membantu penyelesaian tugas tertentu. Ucapan terima kasih ditulis di dalam artikel tanpa nomor.

Daftar Pustaka

- [1] L. S. Paraschiv, N. Acomi, A. Serban, and S. Paraschiv, "A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 343-353, 2020.
- [2] V. Chetan, K. Nagaraj, P. S. Kulkarni, S. K. Modi, and U. Kempaiah, "Review of passive cooling methods for buildings," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, p. 012054.
- [3] M. Levine, D. Ürgе-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang, G. Levermore, A. Mongameli Mehlwana, S. Mirasgedis, and A. Novikova, "Residential and commercial buildings," *Climate change*, vol. 20, p. 17, 2007.
- [4] M. K. Nematchoua, A. Yvon, S. E. J. Roy, C. G. Ralijaona, R. Mamiharijaona, J. N. Razafinjaka, and R. Tefy, "A review on energy consumption in the residential and commercial buildings located in tropical regions of Indian Ocean: A case of Madagascar island," *Journal of Energy Storage*, vol. 24, p. 100748, 2019.
- [5] E. Efficiency, "International Energy Agency," *Organ*, 2019.
- [6] K. Zhu, X. Li, Y. Wang, X. Chen, and H. Li, "Dynamic performance of loop heat pipes for cooling of electronics," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 4163-4168, 2017.
- [7] J. Holman, "Heat Transfer tenth edition, ser," ed: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering. McGraw Hill Higher Education, 2009.
- [8] F. P. Incropera, A. S. Lavine, T. L. Bergman, and D. P. DeWitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*: Wiley, 2007.
- [9] T. L. Bergman, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, and A. S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*: John Wiley & Sons, 2011.
- [10] A. H. Fundamentals, "SI Edition, Atlanta: American Society of Heating," *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc*, 2001.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Perbandingan konsumsi bahan bakar pada sistem injeksi dan sistem karburator

I Nyoman Suparta^{1*}, I Made Suarta¹, I Putu Gede Sopan Rahtika¹, dan Putu Wijaya Sunu¹

¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran, Badung 80351, Indonesia

*Email: suarta@pnb.ac.id

Abstrak

Isu dunia yang paling banyak dibicarakan adalah masalah energi dan kesehatan. Kekhawatiran terhadap pasokan energi telah memotivasi produsen otomotif mencari solusi untuk menghemat penggunaan bahan bakar. Salah satu solusi dikembangkan saat ini adalah mengganti sistem bahan bakar konvensional menjadi injeksi. Pengujian perbandingan kebutuhan bahan bakar antara sepeda motor karburator dan injeksi pada penelitian ini dilakukan menggunakan jenis motor 4 tak, kapasitas 110 cc, transmisi CVT. Pengujian dilakukan secara eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan sistem bahan bakar injeksi lebih hemat 19,3% pada semua tingkat kecepatan.

Kata kunci: konvensional, injeksi, bahan bakar, campuran kurus

Abstract: The world's most talked about issues are energy and health issues. Concerns about energy supply have motivated automotive manufacturers to seek solutions to save fuel use. One solution being developed at this time is to replace the conventional fuel system with injection. Testing the comparison of fuel requirements between carburetor and injection motorcycles in this study was carried out using a 4 stroke motor type, 110 cc capacity, CVT transmission. Tests were carried out experimentally. The test results show the fuel injection system is 19.3% more efficient at all **speed** levels.

Keywords: conventional, injection, fuels, poor mixture

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang otomotif saat ini sangat pesat, salah satu bidang otomotif yang berkembang secara pesat digunakan untuk transportasi darat dan laut. Secara umum untuk transportasi berkapasitas kecil (lebih kecil dari 5000 CC) menggunakan motor berbahan bakar bensin. Selain sebagai alat transportasi, motor berbahan bakar bensin berkapasitas kecil banyak digunakan sebagai alat bantu manusia dalam menyelesaikan pekerjaannya. Sebagai contoh penggunaan motor bensin sebagai alat bantu manusia adalah untuk pompa irigasi, mesin penggiling kopi, mesin kapal nelayan, mesin pemotong rumput dan sebagainya. Sampai saat ini penggunaan mesin berbahan bakar bensin masih terus dikembangkan karena masih sangat digemari di masyarakat.

Sampai saat ini proses terjadinya campuran udara dengan bensin pada motor bensin dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu sistem konvensional menggunakan karburator dan sistem injeksi. Pada sistem konvensional, karburator berfungsi melakukan proses pencampuran bahan bakar dengan udara sebaik mungkin sehingga terjadi campuran ideal dan bersifat homogen. Sedangkan sistem bahan bakar injeksi, bensin disemprotkan di *intake*

manifold dengan volume tertentu diatur oleh ECU sehingga campuran menjadi sempurna. Berdasarkan perbedaan tersebut penulis tertarik untuk membahas “analisa perbandingan konsumsi bahan bakar pada sistem karburator dengan sistem injeksi”.

Pada motor-motor lama karburator adalah komponen mesin yang penting. Karburator berfungsi untuk: mencampur bahan bakar dengan udara sehingga menjadi campuran yang homogen pada tingkat perbandingan yang dibutuhkan. Karburator juga mensuplai jumlah reaktan (campuran bahan bakar dengan udara) yang sesuai menurut kebutuhan mesin yaitu disesuaikan dengan beban. Karburator juga dapat mengatur campuran menjadi lebih gemuk atau kurus sesuai kondisi mesin. Cara kerja sistem karburator adalah dengan memanfaatkan kehampaan di dalam ruang bakar. Kehampaan ini mengakibatkan udara yang ada diluar karburator terhisap masuk melalui filter kemudian masuk melewati bagian atas ruang pelampung dikarburator. Bensin terhisap dari ruang pelampung dilewatkan melalui venturi, akibat perubahan tekanan dan kecepatan maka bensin akan menjadi tetesan halus dan bercampur udara yang menyerupai gas. Campuran tersebut dimasukan kedalam ruang bakar. Jumlah campuran bensin

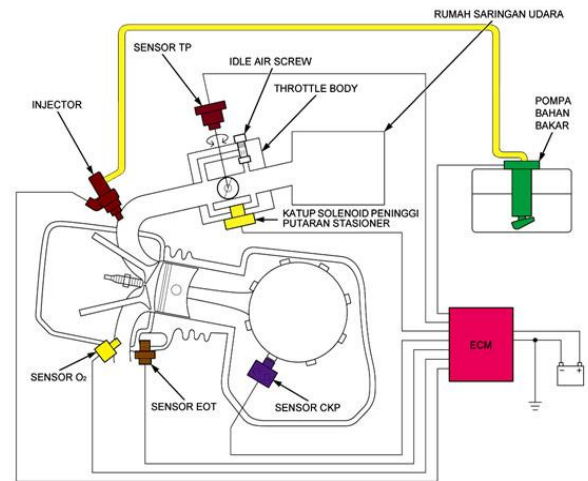
dan udara yang masuk kedalam ruang bakar diatur oleh bukaan lubang pada *nozzle*. Konstruksi karburator dapat dilihat pada gambar 1.

Sistim bahan bakar injeksi pada motor bensin mulai dikembangkan setelah penemuan sistim injeksi pada motor diesel. Dalam perkembangannya sistim bahan bakar injeksi terus mengalami penyempurnaan mulai dari D-jetronik kemudian K-jetronik dan L-jetronik. Posisi penyempromotan bahan bakar pada sistim bahan bakar injeksi ini juga mengalami perubahan dari penyempromotan di saluran masuk sekarang dikembangkan menjadi penyempromotan didalam ruang bakar. Sistim bahan bakar injeksi ini diadopsi dari sistim bahan bakar diesel untuk menghemat bahan bakar sehingga tidak banyak campuran bahan bakar dengan udara yang terbuang pada proses pembilasan.



Gambar 1. Karburator

Sistim bahan bakar injeksi yang merupakan penyempurnaan dari sistim bahan bakar karburator harus mampu melakukan penyempurnaan dalam proses pencampuran bensin dengan udara. Sistim bahan bakar injeksi (EFI=*elektronik fuel injection*) dalam proses kerjanya dikendalikan oleh ECU (*electronic control unit*). Dibandingkan dengan sistim bahan bakar konvensional (karburator) sistim bahan bakar injeksi memiliki kelebihan diantaranya: 1. Perbandingan campuran bensin dengan udara yang lebih sempurna hal ini bisa didapat akibat dilakukan pengontrolan terhadap volume udara yang masuk ke dalam saluran masuk ruang bakar. Pengontrolan pada emisi gas buang, sehingga didapat daya yang lebih optimal dan emisi yang ramah lingkungan. 2. Rancangan saluran masuk lebih baik sehingga didapat volume pemasukan campuran bensin dan udara yang lebih efisien. 3. Perubahan pemasukan campuran bensin dan udara lebih baik karena sesuai dengan perubahan posisi katup gas akibat injektor dengan dengan saluran masuk. 4. Perubahan perbandingan campuran bensin dengan udara pada saat mesin masih dingin dan setelah panas dapat dikontrol, dan juga penghentian pemasukan bahan bakar pada saat proses penurunan kecepatan. Pada sistim injeksi terkini pengontrolan dilakukan oleh EMS (*Engine Managment Systems*) merupakan penggabungan dari beberapa sistim kontrol pada mesin seperti: Komponen ECU melakukan pengendalian terhadap kerja dari komponen sistem injeksi, pengontrolan terhadap sistem pengapian, pengontrolan terhadap putaran idle dan putaran tinggi dll. Gambar 2 memperlihatkan sistim kontrol bahan bakar injeksi.



Gambar 2. Komponen kontrol injeksi

Sahura [1] melakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar mesin pada motor menggunakan sistim bahan bakar karburator dan sistim bahan bakar injeksi. Pengujian dilakukan menggunakan sepeda motor dengan kapasitas mesin 110 CC. Data diambil dengan mengendarai sepeda motor pada jalur lancar dan jalur macet. Kecepatan pengendalian berkisar antara 20 km/jam sampai 60 km/jam. Beban pengendara juga divariasi yaitu 55 kg dan 110 kg dengan volume bensin yang disediakan adalah 1 liter. Hasil pengujian didapat perbedaan yang cukup signifikan yaitu dengan motor menggunakan sistim bahan karburator beban pengendara adalah 50 kg mampu menempuh jarak 47,5 km, dengan berat pengendara 110 kg dapat menempuh jarak 32,8 km. Sedangkan menggunakan motor memakai sistim bahan bakar injeksi mampu menempuh jarak 58,5 km dengan berat pengendara 55kg dan menempuh jarak 42,9 km dengan pengendara seberat 110 kg.

Surya [2] melakukan pengujian dengan memodifikasi sepeda motor Honda Legenda konvensional menjadi sistim EFI. Pengukuran terhadap penggunaan bensin dilakukan sebelum modifikasi dan setelah modifikasi. Hasilnya menunjukkan terjadi penurunan penggunaan penggunaan bahan bakar bensin sebanyak 21,9% setelah dilakukan modifikasi sistim bahan bakar karburator menjadi sistim bahan bakar injeksi.

Santosa [3] melakukan pengujian menggunakan sepeda motor MIO Fino 110 CC menggunakan bahan bakar premium sebanyak 100CC, pada putaran mesin 2000, 3000, 4000, 5000 dan 6000 rpm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sepeda motor sistim injeksi lebih hemat dari sepeda motor konvensional.

Sutarna et al. [4] juga telah melakukan pengujian terhadap kebutuhan bensin pada motor honda beat buatan tahun 2013, hasilnya menunjukkan bahwa sepeda motor injeksi lebih hemat 47.% dibandingkan sepeda motor beat konvensional pada berbagai putaran mesin.

Hasil pengujian [5] masih berkisar pada perbandingan konsumsi bahan bakar tetapi menggunakan mesin mobil dengan memodifikasi sistim bahan bakar konvensional menjadi sistim EFI pada mobil Toyota 5K. Hasil pengujian menunjukkan kebutuhan bahan bakar sistim EFI lebih hemat dari sistim. Hasil pengujiannya dapat disajikan dalam Tabel 1.

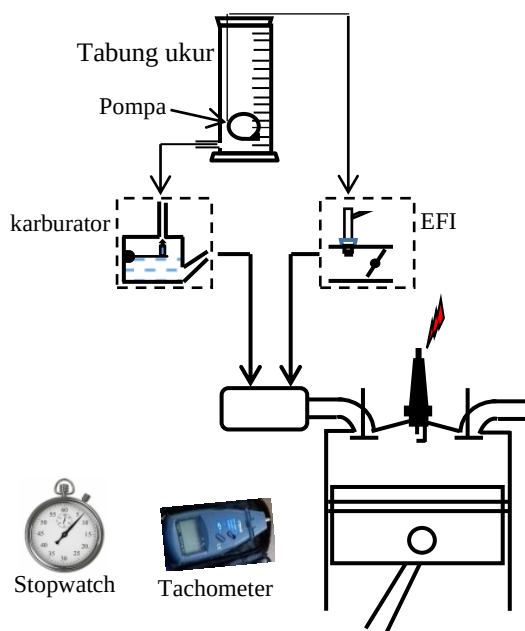
Tabel 1. Perbandingan kebutuhan bahan bakar bensin modifikasi sistim konvensional menjadi sistim EFI.

Putaran Mesin (rpm)	Konsumsi bahan bakar bensin	
	Konvensional (ml/s)	Injeksi (ml/s)
1000	151	132
1500	177	153
1800	189	177
2000	210	196
3000	240	224

Untuk mengetahui penghematan bahan bakar pada penelitian ini dilakukan dengan pengujian konsumsi bahan bakar. Berdasarkan uraian latar belakang maka didapat rumusan permasalahan dalam penelitian ini yaitu apakah ada penghematan konsumsi bahan bakar menggunakan sistim injeksi dibandingkan dengan sistim konvensional.

2. Bahan dan Metode

Pengujian menggunakan sepeda motor beat 110 CC yang menggunakan sistim konvensional dan sistim EFI. Pengujian dilakukan menggunakan bahan bakar pertalite yang dijual dipompa bensin dengan angka oktan (RON) 90. Pengujian dilakukan pada rpm 1300, 2000, 3000 dan 4000 masing-masing pengujian dilakukan dalam waktu 5 menit.

**Gambar 3.** Metoda pengujian

3. Hasil dan Diskusi

Berdasarkan hasil pengujian konsumsi bahan bakar antara sistim karburator dan sistim injeksi dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Untuk memudahkan pembacaan konsumsi bahan bakar selama 5 menit menggunakan karburator dapat dilihat pada gambar 4 dan untuk konsumsi bahan bakar sistim injeksi dapat dilihat pada gambar 5.

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa kebutuhan bahan bakar baik sistim karburator maupun sistim injeksi meningkat berdasarkan rpm nya. Makin tinggi putaran mesin kebutuhan bahan bakar meningkat dalam waktu yang sama. Hal ini disebabkan oleh frekwensi pembakaran meningkat berdasarkan peningkatan putaran mesin. Ini maksudnya pada rpm 1300 terjadi 650 kali pembakaran dibandingkan dengan pada putaran 2000 rpm terjadi 1000 kali pembakaran dalam waktu 1 menit. Atau pada rpm 1300 terjadi 3.250 kali pembakaran dibandingkan dengan pada putaran 2000 rpm terjadi 5000 kali pembakaran dalam waktu 5 menit. Demikian juga seterusnya.

Pada sistim karburator kebutuhan bahan bakar rata-rata terendah yaitu 22 ml dan 19,3 ml pada sistim injeksi pada putaran 1300 rpm. Kebutuhan bahan bakar tertinggi terjadi pada putaran tertinggi juga yaitu pada 4000 rpm, untuk sistim karburator membutuhkan 45,2 ml sedangkan sistim injeksi membutuhkan 32,6 ml dalam waktu 5 menit.

Berdasarkan gradien garis pada gambar 4 dan gambar 5 terlihat bahwa gradien garis sistim injeksi lebih landai dari gradien garis sistim karburator, ini menandakan kebutuhan bahan bakar sistim injeksi lebih rendah di setiap putaran mesin dibandingkan sistim karburator. Hal ini disebabkan sistim karburator menggunakan campuran yang lebih kaya dibandingkan dengan sistim injeksi ini dapat dilihat dari AFR (air fuel ratio) antara sistim karburator dengan sistim injeksi [5].

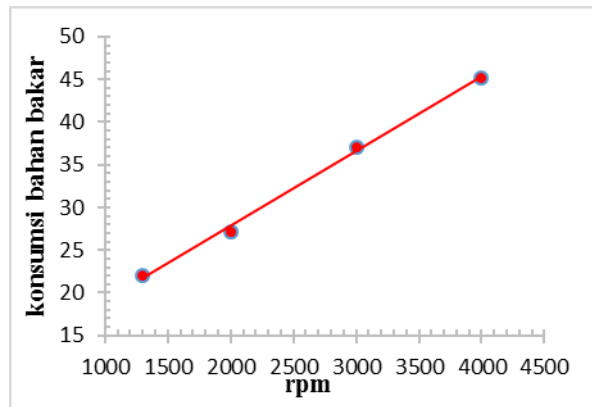
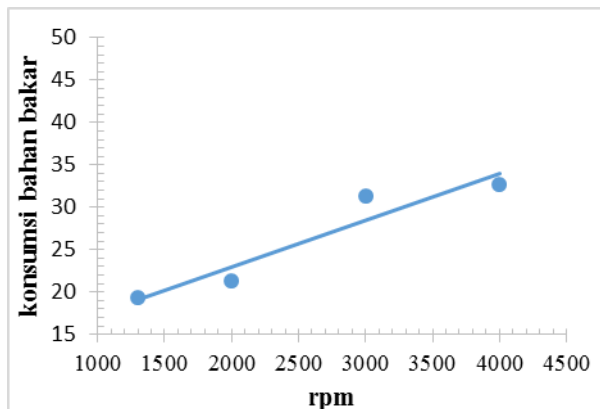
Tabel 1. Data konsumsi bahan bakar menggunakan sistim karburator

No	rpm	Waktu (s)	Konsumsi Bahan bakar (ml)					rerata
			I	II	III	IV	V	
1	1300	5	23,7	24,3	18,6	23,2	20,2	22
2	2000	5	29,8	28,2	24,4	28,6	25	27,2
3	3000	5	37,8	37,2	36,5	37,8	36,2	37,1
4	4000	5	44,5	45,5	46	45,3	44,7	45,2

Tabel 2. Data konsumsi bahan bakar menggunakan sistim Injeksi

No	rpm	Waktu (s)	Konsumsi Bahan bakar (ml)					rerata
			I	II	III	IV	V	
1	1300	5	22,3	17,3	18,3	21,1	17,5	19,3
2	2000	5	23,6	19,2	20,2	22,1	21,4	21,3
3	3000	5	34,2	29,3	30,0	32,2	31	31,3
4	4000	5	35,4	30,6	31,6	32,4	33,2	32,6

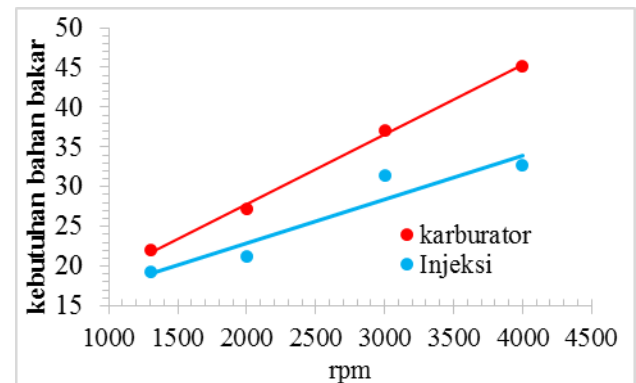
Pada Gambar 6 diperlihatkan perbandingan kebutuhan bahan bakar pada setiap putaran mesin antara sistim karburator terhadap sistim injeksi.

**Gambar 4.** Konsumsi bahan bakar sistim karburator**Gambar 5.** Konsumsi bahan bakar sistim injeksi

Berdasarkan Gambar 6 terlihat makin tinggi putaran mesin perbedaan kebutuhan bahan bakar semakin meningkat ini disebabkan oleh cara kerja yang berbeda dari kedua sistim, dimana sistim karburator membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan putaran yang sama dibandingkan sistim injeksi. Pada sistim karburator pemasukan jumlah bahan bakar terjadi akibat kevakuman yang terjadi di ruang bakar tanpa dikontrol apakah campuran tersebut gemuk atau kurus. Penghisapan bahan bakar dari karburator ke ruang bakar cenderung menghasilkan partikel bahan bakar yang berukuran lebih besar sehingga tidak tercampur secara homogen dengan udara.

Partikel bahan bakar yang masih berupa butiran yang cukup besar cukup sulit untuk terbakar sampai habis dalam waktu yang singkat. Sehingga keluar bersama gas buang

berupa gas tidak terbakar. Sehingga kadar HC sistim karburator lebih tinggi dari sistim injeksi [7].

**Gambar 6.** Perbandingan kebutuhan bb

Pada sistim injeksi bahan bakar disemprotkan di intake manifold pada tekanan 3 atm, sehingga sudah merupakan butiran halus yang sangat mudah bercampur dengan udara. Campuran homogen antara bahan bakar dan udara menyebabkan sangat mudah untuk terbakar. Hal ini dibuktikan dengan adanya UHC yg lebih tinggi pada hasil pembakaran sistim karburator [5,7].

4. Kesimpulan

Berdasarkan uji konsumsi bahan bakar, sepeda motor menggunakan sistim bahan bakar injeksi lebih hemat 19,3% dibandingkan dengan sepeda motor menggunakan sistim bahan bakar konvensional. Terjadi pada semua putaran mesin. Hal ini disebabkan pembakaran terjadi lebih sempurna pada proses pembakaran sistim injeksi. Pembakaran sempurna dalam sistim bahan bakar injeksi disebabkan bahan bakar dikabutkan menghasilkan campuran yang homogen karena ukuran partikel bahan bakar yang disemprotkan lebih kecil sehingga mudah terbakar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan atau dukungan dari teman sejawat, atau teknisi yang telah membantu menyelesaikan pengujian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sahura. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Sepeda Motor Sistem Konvensional dan Sistem EFI. TEKNOLOGI Volume 19 NO. 1 April 2017.
- [2] Surya B. K. A. Modifikasi Sistim Bahan Bakar Karburator Menjadi Sistim Bahan Bakar Injeksi Pada Honda Legend. Universitas Negeri Yogyakarta. Maret 2016

- [3] Santosa B. Kaji Eksperimen Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Sistem Injeksi Dan Karburator Dengan Variabel Bobot Pengendara. Universitas Muhammadiyah Surakarta. 2016.
- [4] I N. Sutarna, I N. L. Antara, D. S. Annakottapary. Fuel Consumption Analysis Of Injection System And Carburetor System On Honda Beat FI 2013. *Journal of Engineering Design and Technology*. Vol. 20 No.3 November 2020; p. 141 - 144
- [5] Yudisworo D, Heri J. Analisis konsumsi bahan bakar hasil modifikasi mesin konvensional ke sistem injeksi (efi). *Prosiding seminar nasional riset teknologi terapan*: 2021. e-ISSN:2747-1217.
- [6] K.S. Chen dkk. Motorcycle emissions and fuel consumption in urban and rural driving conditions. *The Science of the Total Environment* 312 (2003) 113–122
- [7] I M. Suarta, I P.G.S. Rahtika. Perbandingan Emisi Gas Buang Pada Sistem Injeksi Dan Karburator. *Politeknik Negeri Bali* 2020.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Analisa kinerja FCU menggunakan diagram psikrometri

Made Ery Arsana^{1*}, Luh Putu Ike Midiani¹, dan Arbyansyah Darmawan³

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

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

³Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

*Email: putuikemidiani@pnb.ac.id

Abstrak

Air Handling Unit (AHU) ataupun Fan Coil Unit, sebagai salah satu sistem untuk pemanasan dan pendinginan ruang untuk sistem HVAC. AHU/FCU menjadi salah satu pendukung dari konsumsi energi di gedung-gedung yang menggunakan sistem HVAC terutama jenis AC Central. Sistem HVAC mengkonsumsi sekitar 60% dari seluruh konsumsi energi dalam sebuah hunian/gedung konsumen energi tunggal terbesar di gedung komersial, sehingga perlu upaya penghematan energi untuk menghemat sumber daya, mengurangi polusi dan emisi CO₂ ke lingkungan. Artikel ini membahas tentang FCU yang digunakan pada AC central dan melakukan perhitungan performansi pada FCU. Pengukuran performansi FCU dilakukan dengan tujuan mengukur konsumsi energi sistem FCU, kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan termal di FCU. Perhitungan performansi dengan menggunakan diagram Psikrometrik dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penghematan energi. Perhitungan yang dilakukan dengan metodologi ini dapat diperbaiki dengan memperhatikan faktor beban peralatan tambahan dan efisiensi peralatan tambahan untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat. Penggunaan program simulasi dapat digunakan sebagai validasi dari perhitungan secara manual untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat untuk perbaikan performansi FCU.

Kata kunci: FCU, konsumsi energi, diagram Psikrometrik

Abstract: Air Handling Unit (AHU) or Fan Coil Unit, as a system for heating and cooling space for the HVAC system. AHU/FCU is one of the supporters of energy consumption in buildings that use HVAC systems, especially Central AC types. The HVAC system consumes about 60% of all energy consumption in a residential / building the largest single energy consumer in a commercial building, in order to energy saving efforts are needed to save resources, reduce pollution and CO₂ emissions to the environment. This article discusses the FCU used in central AC and performs performance calculations on the FCU. Measurement of FCU performance is carried out with the aim of measuring the energy consumption of the FCU system, indoor air quality and thermal comfort in the FCU. Performance calculations using psychrometric diagrams can be used as a reference to make energy savings. Calculations performed with this methodology can be improved by taking into account the additional equipment load factor and additional equipment efficiency to obtain more precise and accurate results. The use of simulation programs can be used as validation of manual calculations to get more precise and accurate results for improving FCU performance.

Keywords: FCU, energy consumption, Psychrometric chart

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) memiliki fungsi utama menyediakan kondisi yang sehat dan nyaman bagi penghuninya. Sistem HVAC mengkonsumsi sekitar 60% dari seluruh konsumsi energi dalam sebuah hunian/gedung konsumen energi tunggal terbesar di gedung komersial, sehingga perlu upaya penghematan energi untuk menghemat sumber daya, mengurangi polusi dan emisi CO₂ ke lingkungan [1, 2].

Upaya penghematan telah banyak dilakukan sebelumnya, seperti upaya menganalisis perpindahan panas

selubung bangunan untuk memperbaiki kerugian energi [3] maupun upaya perbaikan sistem HVAC tersebut [4].

Konsumsi energi pada sistem HVAC sebagian besar digunakan untuk Air Handling Unit (AHU) atau Fan Coil Unit (FCU). Komponen utama dari AHU/FCU yang menggunakan energi adalah kipas angin, penukar panas dan pemanas, komponen tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kebutuhan energi suatu bangunan maupun efisiensi energi sistem. FCU merupakan salah satu peralatan distribusi udara ruangan. FCU merupakan unit terminal yang dipasang langsung di dalam ruang yang dikondisikan atau di langit-langit di atas ruang yang

dikondisikan. unit terminal adalah peralatan terakhir yang dilalui udara sebelum dikirim ke ruang yang dikondisikan. Struktur FCU dapat diubah sesuai kebutuhan, seperti jalur aliran udara (vertikal atau horizontal) dan dudukan (terbuka atau tersembunyi), dan secara opsional dapat menggunakan ekspansi hidronik atau langsung untuk melakukan siklus filtrasi dan kontrol suhu ruangan dari udara dalam ruangan. FCU terdiri dari kipas sentrifugal, kumparan/koil bersirip, filter, selubung luar, dan kontrol [5-7].

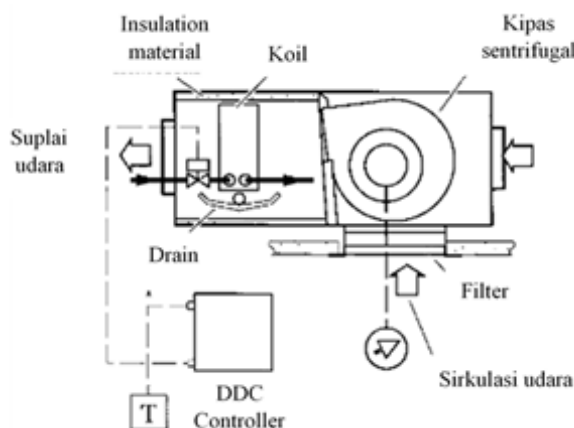
Pengukuran performansi FCU dilakukan dengan tujuan mengukur konsumsi energi sistem FCU, kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan termal di FCU [8].

Efisiensi energi dapat evaluasi dengan menggunakan Coefficient of Performance (COP) yang menunjukkan seberapa efisien FCU beroperasi. Kebutuhan energi FCU terdiri dari energi listrik dan energi panas. Energi listrik menyatakan konsumsi daya yang digunakan dan energi panas menyatakan laju aliran panas yang dihilangkan oleh media pendingin berupa panas sensibel dan laten ($Q_s + Q_l$). Panas sensibel adalah energi panas yang mempengaruhi temperatur udara dan panas laten adalah energi panas yang mempengaruhi kelembaban relatif, yang mempengaruhi perubahan keadaan uap air [5]. Efisiensi energi sistem AHU/FCU sangat erat kaitannya dengan letak geografis, terutama dengan parameter iklim luar ruangan seperti suhu bola kering, suhu bola basah, kelembaban relatif dan entalpi, dimana parameter-parameter tersebut ditunjukkan pada diagram Psikrometrik [9-11]. Diagram psikrometrik digunakan dalam perhitungan, analisis, dan solusi dari masalah sistem HVAC, untuk menggambarkan perubahan yang terjadi pada udara saat melewati proses pengkondisian udara dari pemanasan, pendinginan, humidifying, dan dehumidifying [12]. Representasi yang tepat dari setiap beban pada diagram Psikrometrik akan membantu memahami interaksi beban dan pengaruhnya terhadap sistem desain [13].

Pada artikel ini akan dibahas tentang performansi dari fan coil unit (FCU) yang merupakan bagian dari sistem HVAC dengan menggunakan diagram Psikrometrik.

2. Metodologi

Efisiensi operasional suatu sistem pendingin udara dapat dihitung dengan menggunakan diagram psikrometrik. Hal ini juga dapat dilakukan dalam menghitung efisiensi energi FCU. FCU yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Fan Coil Unit [14]

Efisiensi energi dapat dicapai dengan menggunakan Coefficient of Performance (COP) yang menunjukkan seberapa efisien FCU [14]. COP merupakan ukuran efisiensi dan COP tidak berdimensi karena daya input dan daya output diukur dalam Watt. Semakin tinggi nilai COP maka semakin efisien sistemnya.

COP dari FCU merupakan rasio dari kapasitas kalor dan nilai input listrik, ditunjukkan sebagai berikut :

$$COP = \frac{Q}{P} \quad (1)$$

dimana :

Q = panas yang berguna atau dibuang sistem (Watt)

P = kerja / listrik yang diperlukan oleh sistem (Watt)

Selanjutnya perhitungan daya yang digunakan untuk menggerakkan kipas angin dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut [14]:

$$P_{el} = q_v \cdot \Delta P_{fan} / \eta_e \cdot 1000 \quad (2)$$

dimana :

P_{el} = daya listrik yang dipakai (Watt)

q_v = volume udara yang melalui kipas (m^3/s)

ΔP_{fan} = total tekanan masuk dan keluar kipas (Pa)

η_e = efisiensi total fan dan motor

$$= \eta_{shaft} \times \eta_{tr} \times \eta_m \times \eta_{aceq}$$

Semua nilai berlaku untuk kerapatan udara $\rho_{udara} = 1.2 \text{ kg/m}^3$

Jumlah panas sensibel dari koil pemanas/pendingin dan penukar panas dihitung dengan persamaan [15]:

$$Q_s = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{out} - t_{in}) \quad (3)$$

dimana :

Q_s = panas sensibel

q_v = laju alir udara (m^3/s)

ρ = berat jenis udara (kg/m^3) = 1.2 kg/m^3

c_p = panas spesifik udara ($kJ/(kg.K)$) = 1.00 kJ/(kg.K)

t_{out} = temperatur udara keluar koil ($^{\circ}C$)

t_{in} = temperatur udara masuk koil ($^{\circ}C$)

Jika kelembaban udara berubah maka jumlah panas sensibel sesaat untuk pendinginan/pemanasan udara dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = q_v \cdot \rho \cdot (h_{in} - h_{out}) \quad (4)$$

dimana :

Q_s = panas sensibel saat kelembaban udara berubah

q_v = laju alir udara (m^3/s)

ρ = berat jenis udara (kg/m^3) = 1.2 kg/m^3

h_{out} = entalpi udara keluar koil (kJ/kg)

h_{in} = temperatur udara masuk koil (kJ/kg)

Panas laten sesaat untuk pemanas / coil pendingin dan penukar panas (dehumidification / humidifikasi udara dalam koil pendingin) dihitung dengan rumus [15]:

$$Q_l = q_v \cdot \rho \cdot (x_{in} - x_{out}) \cdot 2500 \quad (5)$$

dimana :

Q_l = panas laten

q_v = laju alir udara (m^3/s)

ρ = berat jenis udara (kg/m^3) = $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$

x_{out} = kandungan uap air udara keluar koil (kg/kg)

x_{in} = kandungan uap air udara masuk koil (kg/kg)

2500 = Kondensasi/evaporasi uap air pada temperatur keluar koil moderat (kJ/kg)

Perhitungan panas sensible dan panas laten menurut Grondzik tanpa memperhitungkan factor kondensasi/evaporasi sehingga perhitungan panas sensible dan panas laten adalah sebagai berikut [13]:

$$Q_s = \dot{m} \cdot \Delta h \quad (6)$$

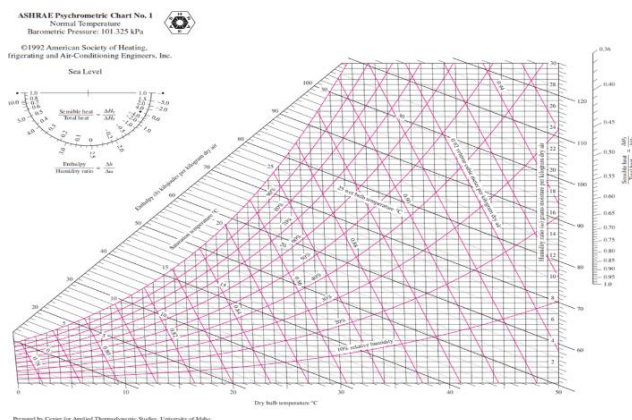
$$Q_l = \dot{m} \cdot \Delta x \quad (7)$$

Panas total (Q_t) dari koil pendingin / pemanas adalah jumlah panas sensibel dan laten, maka [15]:

$$Q_t = Q_s + Q_l \quad (8)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pengolahan data untuk mendapatkan COP dilakukan dengan memplot data-data temperatur tersebut pada diagram psikrometrik dan selanjutnya dihitung menggunakan rumus-rumus yang telah disediakan. Diagram Psikrometrik yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2 dan spesifikasi FCU ditampilkan dalam Tabel 1.



Gambar 2. Diagram Psikrometrik [16]

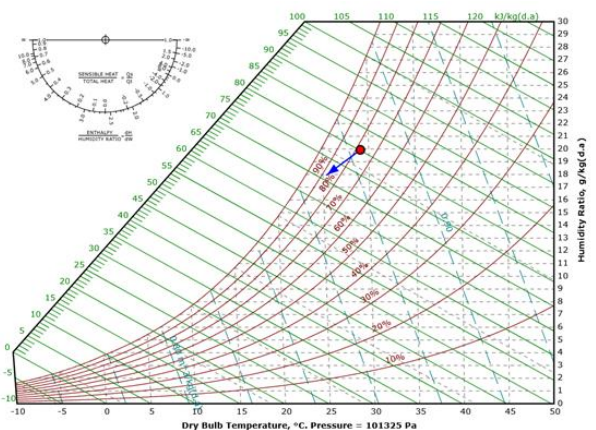
Tabel 1. Spesifikasi FCU

INDOOR UNIT			
MODEL NAME	:	SB 100	
MODEL CODE	:	SB 100-W-H1-SS05	
COOLING CAPACITY		BTU/H	100,000
MAX AIR FLOW		CFM	3,200
RATED VOLTAGE		Ph/V/Hz	1/220/50
STATIC PRESSURE		MMAq	10.16
CONNECTION		LEFT	
PIPE SIZE	INLET	INCH	1.5
	OUTLET	INCH	1.5
SERIAL NO	:	030109F0247BW\XFA	

Hasil plot data-data pada diagram Psikrometrik tersebut ditampilkan dalam Tabel 2. Plot data pada diagram Psikrometrik ditunjukkan pada gambar 3. Selanjutnya data dari diagram Psikrometrik diolah untuk mendapatkan panas sensibel, kalor laten sehingga COP dari FCU dapat diketahui. Hasil pengolahan data tersebut dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 2. Data Psikrometrik

No.	Inlet				Outlet			
	T_{uin} (°C)	Rh_{in} (%)	h_{in} (kJ/kg)	x_{in} (g/kg)	T_{uout} (°C)	Rh_{out} (%)	h_{out} (kJ/kg)	x_{out} (g/kg)
1	28.8	82	81.79	20.69	27.2	85.5	77.39	19.62
2	29.8	79	83.96	21.13	26.7	85.8	75.55	19.10
3	29.7	75.2	80.87	19.96	26.4	83.9	73.27	18.33
4	30.1	75.4	82.65	20.50	24.7	90	70.05	17.76
5	28.9	78	79.53	19.77	25.6	82.1	69.24	17.07
6	28.8	78	79.13	19.65	24.8	85.5	68.10	16.95
7	28.6	78.4	78.59	19.52	24.7	88.4	69.23	17.43
8	28.7	76.6	77.87	19.20	24.4	91.9	69.88	17.81
9	28.9	76.3	78.40	19.32	24.5	90.3	69.44	17.60
10	28.8	78.1	79.19	19.67	24.3	91.6	69.34	17.64



Gambar 3. Proses Pengkondisian Udara pada Diagram Psikrometrik

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

Pe_l	:	157146.67	6138	W
Q_s	:	-15.42	-0.93	W
Q_l	:	-8548.54	-0.21	W
Q_{total}	:	-8563.96	1.13	W
COP	:	-0.05	0.000184	

Dari Gambar 3 dan Tabel 2, proses pengkondisian udara yang terjadi adalah proses cooling dan dehumidifying yaitu proses penurunan temperatur dengan penurunan kandungan uap air. Penurunan temperatur terjadi dari temperatur 29.11°C menuju temperatur 25.33°C . Penurunan kandungan uap air terlihat sebesar $2.0067 \text{ kg}/\text{kg}$, enthalpy udara menurun sebesar $9.05 \text{ kJ}/\text{kg}$. Pengaruh panas sensibel menyebabkan penurunan temperatur dan enthalpy pada udara, dalam perhitungan ini panas sensibel besarnya 15.42 W . Panas laten mempengaruhi jumlah kandungan uap air di udara. Panas laten 8548.54 W menurunkan kandungan uap

air sebesar 2.0067 kg/kg. Penjumlahan panas sensibel dan panas laten merupakan panas total yang akan mempengaruhi performansi FCU.

Panas sensibel merupakan panas yang diperlukan untuk merubah temperatur udara. Sedangkan panas laten merupakan panas yang mempengaruhi kelembaban relatif dimana mempengaruhi perubahan keadaan uap air dalam udara. Besar panas sensibel dan panas adalah minus, hal ini menunjukkan panas tersebut dilepaskan. Untuk perhitungan COP agar tidak minus, harga panas sensibel dan panas laten dianggap positif.

Perhitungan daya terdapat perbedaan antara Haperen dan Grondzik, dimana Haperen memperhitungkan volume aliran udara, tekanan dan efisiensi peralatan tambahan untuk mendapatkan daya, sedangkan Grondzik hanya berdasarkan tegangan dan arus yang digunakan. Haperen juga menambahkan factor angka 2500 pada perhitungan panas laten, sehingga panas laten yang dihasilkan lebih besar daripada panas sensibel.

Penambahan faktor angka keamanan yang ditambahkan pada perhitungan perlu dipertimbangkan, selain itu faktor beban peralatan tambahan dan efisiensi peralatan tambahan harus dihitung secara tepat, sehingga optimasi dan efisiensi FCU dapat tercapai. Penggunaan program simulasi dapat digunakan sebagai validasi dari perhitungan secara manual.

Faktor posisi dan letak dari FCU akan mempengaruhi kondisi dari udara kembali dan udara yang disupply ke dalam ruangan yang dikondisikan, sehingga beban pendinginan meningkat dan efisiensi dari FCU akan menurun.

Perlu dipertimbangkan suatu metode kontrol yang efektif untuk FCU sehingga efisiensi operasional dari FCU dapat ditingkatkan atau dipertahankan. Kontrol konvensional FCU akan meningkatkan efisiensi operasional dan kenyamanan termal dalam ruangan tetap dapat dipertahankan

4. Kesimpulan

Metode perhitungan efisiensi FCU menggunakan diagram Psikrometrik ini masih digunakan pada iklim daerah Indonesia. Studi metodologi perhitungan efisiensi ini perlu dilakukan perbaikan pada situasi iklim yang berbeda dan kompleksitas FCU/AHU. Faktor beban peralatan tambahan, efisiensi peralatan tambahan dan penentuan penggunaan rumus perhitungan juga perlu mendapatkan perhatian untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat.

Metodologi ini dapat diperbaiki dengan penggunaan program simulasi dan persamaan persepsi dalam penggunaan rumus perhitungan untuk memvalidasi hasil perhitungan, sehingga simulasi maupun metode perhitungan dapat menjadi suatu program desain pemilihan dan penggunaan FCU yang baik dan efisien kedepannya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan dan dukungan dari Kalab tata udara, teknisi dan mahasiswa prodi TRU dan TPTU yang telah membantu dalam penyelesaian artikel ini.

Daftar pustaka

- [1] M. Levine, D. Ürge-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang, G. Levermore, A. Mongameli Mehlwana, S. Mirasgedis, and A. Novikova, "Residential and commercial buildings," *Climate change*, vol. 20, p. 17, 2007.
- [2] V. Chetan, K. Nagaraj, P. S. Kulkarni, S. K. Modi, and U. Kempaiah, "Review of passive cooling methods for buildings," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, p. 012054.
- [3] L. S. Paraschiv, N. Acomi, A. Serban, and S. Paraschiv, "A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 343-353, 2020.
- [4] T. Magraner, A. Montero, S. Quilis, and J. Urchueguía, "Comparison between design and actual energy performance of a HVAC-ground coupled heat pump system in cooling and heating operation," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 1394-1401, 2010.
- [5] S. K. Wang and S. K. Wang, *Handbook of air conditioning and refrigeration* vol. 49: McGraw-Hill New York, 2000.
- [6] H.-C. Chuang, J.-H. Chi, K.-Y. Chang, and C.-T. Lee, "Study on a fan coil unit and chiller by an intelligent control method with a stepless variable speed driving technology," *Building and Environment*, vol. 132, pp. 137-146, 2018.
- [7] A. Ranade, G. Provan, A. E.-D. Mady, and D. O'Sullivan, "A computationally efficient method for fault diagnosis of fan-coil unit terminals in building Heating Ventilation and Air Conditioning systems," *Journal of Building Engineering*, vol. 27, p. 100955, 2020.
- [8] Z. Tianyi, Z. Jili, and S. Dexing, "Experimental study on a duty ratio fuzzy control method for fan-coil units," *Building and Environment*, vol. 46, pp. 527-534, 2011.
- [9] J. Trojanova, J. Vass, K. Macek, J. Rojiček, and P. Stluka, "Fault diagnosis of air handling units," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 42, pp. 366-371, 2009.
- [10] G. Hundy, A. Trott, and T. Welch, "Air Conditioning Methods and Applications," *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps*, 2016.
- [11] R. Legg, *Air conditioning system design*: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [12] S. C. Sugarman, *HVAC fundamentals*: Crc Press, 2020.
- [13] W. T. Grondzik, *Air-conditioning system design manual*: Elsevier, 2007.
- [14] K. Vadoudi and S. Marinhas, "Development of Psychrometric diagram for the energy efficiency of Air Handling Units," *The REHVA European HVAC Journal*, p. 5, 2018.
- [15] K. van Haperen, "Recommendations for calculations of energy consumption for air handling units," ed: EUROVENT, 2005.
- [16] A. H. Fundamentals, "SI Edition, Atlanta: American Society of Heating," *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc*, 2001.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Analisis perbandingan berbagai sistem AC komersial pada aplikasi gedung hotel

I Nyoman Suamir^{1*}, I Wayan Temaja¹ dan I Putu Eka Indra Yana¹

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

*Email: nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstrak

Sistem AC adalah utilitas energi-signifikan terbesar dari bangunan hotel. Oleh karena itu, ada potensi luar biasa untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem AC di gedung hotel dengan melakukan optimasi baik dari aspek pemilihan sistem dan operasionalnya. Paper ini menyajikan evaluasi alternatif berbagai sistem AC yang dapat diterapkan untuk hotel bintang lima. Hotel ini merupakan resor dan vila dengan beban puncak pendinginan sebesar 2400 TR (ton of refrigeration). Aspek utama yang menjadi basis evaluasi dalam paper ini adalah kinerja energi sistem AC mencakup COP, konsumsi daya, dan konsumsi energi per tahun. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem AC sentral dengan diversity factor yang relatif lebih baik memberikan fleksibilitas dalam menetapkan kapasitas sistem yang terpasang bisa lebih kecil dibandingkan dengan beban pendinginan puncak dari gedung hotel. Lebih spesifik ditemukan bahwa AC jenis water cooled chiller memiliki COP yang tinggi dibandingkan dengan sistem AC lainnya. Dikombinasikan dengan keunggulan kapasitas yang terpasang juga kecil, maka konsumsi energi tahunan untuk AC jenis water cooled chiller juga sangat unggul dengan penghematan energi lebih dari 50% dibandingkan dengan sistem AC jenis WCP dan VRV. Modular air cooled chiller juga ditemukan memiliki keunggulan kinerja energi setelah water cooled chiller. Hasil evaluasi ini dapat memberikan alternatif bagi pemilik hotel, konsultan dan kontraktor gedung dalam menetapkan sistem AC yang paling sesuai untuk diterapkan.

Kata kunci: analisis perbandingan, kinerja energi, sistem AC, gedung hotel

Abstract: Air conditioning systems are the largest energy-significant utility of hotel buildings. Therefore, there is tremendous potential to increase the overall efficiency of the air conditioning system in hotel buildings by optimizing both the system selection and operational aspects. This paper presents an evaluation of various AC systems that can be applied to five-star hotels. This hotel is a resort and villa with a peak cooling load of 2400 TR (tons of refrigeration). The main aspect that becomes the basis of evaluation in this paper is the energy performance of the AC system including COP, power consumption, and energy consumption per year. The evaluation results show that the central air conditioning system with a relatively better diversity factor provides flexibility in determining the installed system capacity which can be smaller than the peak cooling load of the hotel building. More specifically, it was found that the water cooled chiller type AC had a high COP compared to other AC systems. Combined with the advantage that the installed capacity is also small, the annual energy consumption for the water cooled chiller is also very superior with energy savings of more than 50% compared to WCP and VRV type AC systems. Modular water cooled chillers were also found to have superior energy performance just after the water cooled chiller system. The results of this evaluation can provide an alternative for hotel owners, consultants and building contractors in determining the most suitable AC system to be applied..

Keywords: comparison analysis, energy performance, AC system, hotel building

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Di Indonesia, sektor bangunan, termasuk bangunan hotel, menggunakan 50% energi secara umum atau 70% dari total konsumsi listrik. Hal ini membuat sektor tersebut menjadi pengguna energi terbesar bahkan melebihi sektor industri dan transportasi. Dari segi penggunaan energi, sistem pengkondisian udara pada bangunan mengkonsumsi 65% dari total penggunaan energi pada bangunan hotel [1].

Sektor perhotelan sendiri berkembang sangat pesat di Indonesia dan kunjungan wisatawan khususnya ke Bali terus meningkat.

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 pemanas, ventilasi dan pendingin udara di iklim tropis bisa melebihi 50% dari total konsumsi

energi bangunan [2,3], 47% di AS [4] dan 30-50% di Cina [5]. Sistem AC adalah utilitas energi-signifikan terbesar dari bangunan hotel. Oleh karena itu, ada potensi luar biasa untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem AC di gedung hotel.

Penggunaan listrik terbesar di gedung hotel adalah 70-80% untuk operasional chiller. Dimana chiller adalah sub-sistem utama dari sistem AC. Biaya operasional hotel dapat ditekan dengan mengoptimalkan penggunaan energi pada chiller. Manajemen sistem multi-chiller yang efisien bisa sangat menantang sebagai alternatif dalam mengoptimalkan penggunaan energinya [6]. Efisiensi energi keseluruhan dari sistem AC dengan multi-chiller dapat memiliki dampak besar dengan menggunakan konsep pengaturan urutan operasional chiller [7]. Metode operasional ini merupakan praktik yang baik dalam menggunakan multi-chiller dengan efisiensi terbaik dibandingkan dengan operasional chiller yang mengkonsumsi lebih banyak energi [8].

Kebutuhan energi untuk AC akan meningkat pesat di abad ke-21 [9]. 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 terhadap AC diperkirakan akan menyebabkan kebutuhan energi melonjak hingga 72%. Konsumen terbesar energi terkait sistem AC datang dari negara berkembang. Peningkatan besar diperkirakan terjadi di Asia Selatan karena kebutuhan energi untuk sistem AC dapat meningkat sekitar 50% akibat perubahan iklim [10].

Untuk mengantisipasi perubahan tersebut, peningkatan efisiensi energi pada bangunan gedung hotel saat ini menjadi target utama kebijakan energi di tingkat regional, nasional dan internasional. Di antara utilitas bangunan, peningkatan penggunaan energi sistem pemanas, ventilasi, dan AC atau lebih dikenal dengan HVAC menjadi sangat signifikan [11]. Beberapa solusi telah diusulkan untuk mempromosikan konservasi energi seperti pengembangan sistem AC yang dilengkapi dengan sistem heat recovery untuk memanaskan air [12-16]; menjaga kinerja sistem melalui pemantauan ketat pada parameter kunci chiller termasuk temperatur approach evaporator dan kondensor [17]; dan mengoptimalkan distribusi sistem sirkulasi air dingin [18]. Hal ini dapat mendorong penerapan efisiensi energi yang lebih luas, untuk mendukung komitmen Pemerintah Indonesia dalam mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% pada tahun 2020 [19]. Hemat energi merupakan salah satu solusi cerdas untuk dapat diterapkan pada hotel. Oleh karena itu, tindakan dari sektor bangunan untuk memitigasi dan beradaptasi dengan perubahan iklim sejak dini mulai dari perencanaan dan pemilihan utilitas termasuk sistem AC yang signifikan energi menjadi sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi bangunan dan emisi GRK [20].

Paper ini menyajikan evaluasi alternatif berbagai sistem AC yang dapat diterapkan untuk hotel bintang lima. Hotel ini merupakan resor dan vila dengan beban puncak pendinginan berdasarkan hasil perencanaan yang komprehensif sebesar 2400 TR (*ton of refrigeration*). Aspek utama yang menjadi basis evaluasi dalam paper ini adalah kinerja energi sistem mencakup COP, konsumsi daya, dan konsumsi energi per tahun. Beberapa aspek lain juga didiskusikan seperti: fleksibilitas operasional sistem AC, resiko terjadinya kerusakan, kemudahan perawatan serta

perbaikan dan umur ekonomis dari berbagai sistem AC yang dievaluasi.

2. Material dan Metode

2.1. Deskripsi Sistem AC Komersial

Sistem AC komersial yang dievaluasi dalam paper ini merupakan sistem AC yang umum dapat diterapkan pada bangunan hotel, khususnya hotel berbintang. Sistem AC tersebut mencakup 5 jenis sistem AC yaitu: water cooled chiller, air cooled chiller, modular air cooled chiller, water cooled package (WCP), dan variable refrigerant volume (VRV).

2.2. Metode

Metode utama yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode studi literatur. Berbagai studi yang dilakukan antara lain: studi tentang kebutuhan dan karakteristik beban pendinginan pada berbagai gedung komersial lebih khususnya gedung hotel; studi tentang spesifikasi teknis yang mencakup kinerja energi, kapasitas pendinginan, konstruksi, instalasi, kebutuhan tata ruang dan umur ekonomis; studi tentang karakteristik operasional serta perawatan dan perbaikan berbagai jenis sistem AC komersial.

Hasil studi kemudian dievaluasi secara komprehensif dan dilakukan analisis komperasi antara karakteristik beban pendinginan gedung hotel dan karakteristik operasional dari sistem AC. Analisis komparasi antara berbagai jenis sistem AC juga dilakukan untuk mendapatkan skala prioritas sistem AC yang terbaik dan yang paling sesuai dengan kebutuhan gedung hotel terutama dari aspek kinerjanya.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Karakteristik dan Operasional

3.1.1. Water cooled chiller

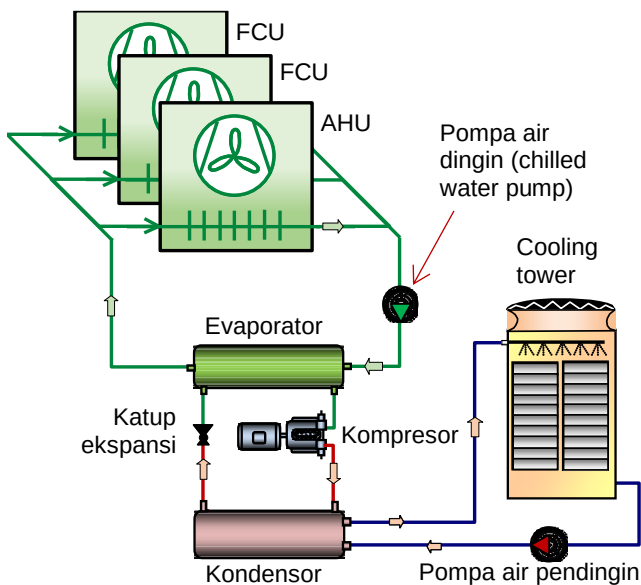
Sistem AC jenis water cooled chiller merupakan AC dengan sistem terpusat atau sentral dengan kondensor yang didinginkan oleh air melalui sistem cooling tower. Untuk studi kasus ini, jumlah unit chiller bisa mencapai 3 unit masing-masing dengan kapasitas 600 TR.

Sistem AC memproduksi air dingin (*chilled water*) dengan temperatur pada kisaran 6-7 °C. Air dingin didistribusikan ke sistem pembebanan dalam hal ini AHU (*air handling unit*) atau FCU (*Fan coil unit*) dengan menggunakan sistem pompa. Di sisi kondensor, panas kondensor diserap oleh air pendingin (*cooling water*) dan dibuang ke lingkungan melalui sistem cooling tower. Skematik sistem AC water cooled chiller disajikan pada Gambar 1.

Karakteristik dari sistem AC *water cooled chiller* dapat dirinci sebagai berikut:

- Kapasitas pendinginan sistem chiller dapat 20%-30% lebih rendah dari beban puncak karena adanya diversity factor. Untuk studi kasus gedung komersial tipe hotel, diversity factor bisa mencapai 70% - 80%;
- Jenis kompresor yang digunakan adalah kompresor sentrifugal dengan jumlah unit yang dibutuhkan 3 unit @600 TR;
- Dibutuhkan ruang mesin refrigerasi tertutup minimum dengan luas lantai 168 m² dan tinggi minimum 4.4 m [21];

- Penempatan cooling tower di udara terbuka kira-kira 234 m² [21];
- Diperlukan make up water untuk cooling tower sebesar 13-15 liter/TR.jam [21];
- Setiap ruang dilayani oleh sistem pembebanan AHU atau FCU;
- Kapasitas AHU dengan rentang dari 5 TR sampai dengan 90 TR;
- Ruangan yang kecil dilayani oleh FCU;
- Umur ekonomis pemakaian sistem AC water cooled chiller umumnya sampai 25 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Relatif lebih flexible untuk gedung dengan kondisi beban ruangan yang bervariasi, atau yang dilengkapi dengan ruangan yang membutuhkan kapasitas dengan beban yang besar atau beban laten tinggi seperti ball room atau convention hall;
- Dapat memenuhi kebutuhan beban pendinginan yang besar dengan 1 unit chiller;
- Sistem refrigerasinya terpusat (sentral) dan relatif lebih sederhana;
- Memiliki efisiensi tahunan yang baik;
- Kemungkinan terjadinya gangguan unit relatif kecil karena ruang mesin refrigerasi hanya terdiri atas 3 unit chiller (3 x 600 TR).



Gambar 1. Sistem AC water cooled chiller

3.1.2. Air cooled chiller

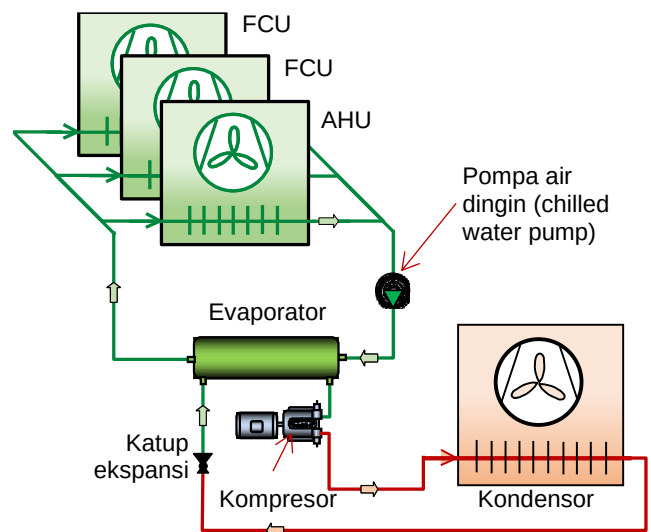
AC jenis air cooled chiller memiliki perbedaan utama pada sistem pendinginan kondensornya dibandingkan dengan AC sistem water cooled chiller. Kondensor sistem AC ini didinginkan langsung oleh udara lingkungan.

Air cooled chiller juga merupakan AC dengan sistem terpusat atau sentral. Untuk studi kasus ini, jumlah unit air cooled chiller yang dibutuhkan bisa mencapai 4 unit masing-masing dengan kapasitas 450 TR. Sistem AC ini juga memproduksi air dingin (chilled water) dengan temperatur pada kisaran 6-7 °C. Air dingin didistribusikan ke sistem pembebanan AHU (air handling unit) atau FCU (fan coil unit) dengan menggunakan sistem pompa. Di sisi kondensor, panas kondensor didinginkan langsung oleh

udara lingkungan. Skematik sistem AC air cooled chiller disajikan pada Gambar 2.

Adapun karakteristik dari sistem AC air cooled chiller adalah sebagai berikut:

- Untuk aplikasi gedung hotel, kapasitas pendinginan sistem air cooled chiller juga bisa 20%-30% lebih rendah dari beban puncak karena adanya diversity factor. Diversity factor untuk hotel bisa mencapai 70% - 80%;
- Jenis kompresor yang digunakan umumnya kompresor tipe ulir (screw) dengan jumlah unit yang dibutuhkan sebanyak 4 unit @450 TR;
- Dibutuhkan ruang mesin refrigerasi terbuka minimum dengan luas 420 m² [21], biasanya di tempatkan di lantai atap (roof top);
- Setiap ruangan yang dikondisikan dilayani oleh AHU atau FCU, dengan kapasitas AHU berkisar dari 5 TR sampai dengan 90 TR;
- Ruangan dengan ukuran kecil seperti kamar hotel dilayani oleh FCU;
- Umur ekonomis pemakaian sama dengan water cooled chiller, umumnya sampai 25 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Relatif lebih flexible untuk Gedung dengan kondisi ruangan yang bervariasi, atau memiliki fasilitas ruangan yang membutuhkan beban pendinginan yang besar atau beban laten tinggi seperti ball room atau convention hall;
- Dapat memenuhi kebutuhan beban pendinginan yang besar dengan 1 unit chiller;
- Sistem refrigerasinya terpusat dan relatif lebih sederhana dibandingkan water cooled chiller karena tidak ada sistem cooling tower dan cooling waternya.
- Kemungkinan terjadinya gangguan unit relatif kecil karena ruang mesin refrigerasi hanya terdiri atas 4 unit chiller (4 x 450 TR) lengkap dengan sistem pemipaan, pompa chilled water dan kontrol.



Gambar 2. Sistem AC air cooled chiller

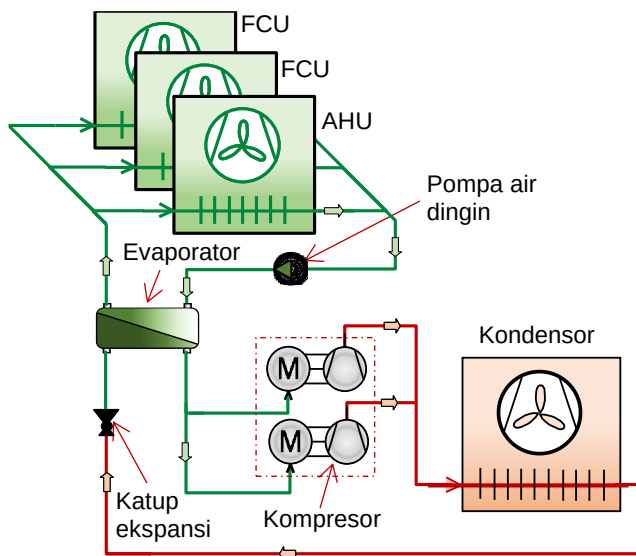
3.1.3. Modular air cooled chiller

Penempatan instalasi modular air cooled chiller harus pada tempat yang terbuka, biasanya di roof top, sehingga terjadi proses pembuangan panas ke udara lingkungan dengan baik.

Jarak antara sistem pembebanan AHU dan FCU dengan refrigeration unit bisa jauh karena dilengkapi dengan sistem pemipaan dan pompa chilled water.

Operasional chiller dengan berpendingin udara sangat mudah dan lebih flexible. Di samping itu peralatan yang diperlukan relatif lebih sedikit kalau dibandingkan dengan sistem AC jenis water cooled chiller.

Operasi modular air cooled chiller ini relatif mirip dengan air cooled chiller hanya kapasitasnya yang lebih kecil. AC jenis air cooled chiller memiliki perbedaan utama pada sistem pendinginan kondensornya dibandingkan dengan AC sistem water cooled chiller. Kondensor sistem AC ini didinginkan oleh udara lingkungan. Sehingga konstruksinya lebih sederhana. AC jenis modular air cooled chiller merupakan AC dengan sistem tidak terpusat berarti sistem refrigerasinya tersebar di seluruh Gedung menurut kebutuhan pembebanan. Kapasitas AC modular air cooled chiller berkisar antara 14 TR (48 kW) sampai dengan 66 TR (232 kW) [22]. Untuk studi kasus ini, jumlah unit modular air cooled chiller yang dibutuhkan bisa mencapai 48 unit masing-masing dengan kapasitas 50 TR. Sistem AC ini juga memproduksi air dingin (chilled water) dengan temperatur pada kisaran 6-7 °C. Air dingin juga didistribusikan ke sistem pembebanan AHU (air handling unit) atau FCU (Fan coil unit) dengan menggunakan sistem pompa. Skematik sistem AC modular air cooled chiller lengkap dengan sistem chilled water disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem AC modular air cooled chiller

Adapun karakteristik dari sistem AC modular air cooled chiller adalah sebagai berikut:

- Untuk aplikasi gedung hotel, kapasitas pendinginan sistem AC modular air cooled chiller yang terpasang bisa 15% lebih rendah dari total beban puncak, karena unit dapat beroperasi semi-sentral dengan diversity factor mencapai 83%;
- Penggunaan bisa digabungkan sebanyak 5 unit untuk mendapatkan kapasitas pendinginan yang diinginkan sehingga merupakan sistem AC semi-sentral (terpusat tapi tersebar di seluruh Gedung) [22].
- Untuk studi kasus ini, dengan beban puncak 2400 TR diperlukan 8 sistem semi sentral dengan masing-

masing terdiri atas 5 unit sehingga dibutuhkan 40 unit modular air cooled chiller masing-masing dengan kapasitas pendinginan 50 TR;

- Kompresor yang digunakan adalah kompresor scroll inverter;
- Setiap ruangan yang dikondisikan juga dilayani oleh sistem AHU atau FCU;
- Kapasitas AHU memiliki rentang dari 5 TR sampai dengan 90 TR;
- Ruangan dengan ukuran yang relative kecil seperti kamar hotel dilayani oleh FCU;
- Umur ekonomis pemakaian umumnya sampai 15 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Masih cukup flexibel untuk gedung dengan kondisi ruangan yang bervariasi, atau hotel yang memiliki fasilitas dengan beban pendinginan yang besar atau beban laten tinggi seperti ball room atau convention hall;
- Untuk dapat memenuhi kebutuhan beban yang besar diperlukan gabungan unit chiller;
- Sistem refrigerasinya semi-terpusat atau terpusat tetapi masih tersebar di seluruh gedung dalam bentuk kelompok atau gabungan chiller. Sehingga sistem refrigerasinya relatif lebih kompleks;
- Memiliki efisiensi tahunan yang sangat baik, khususnya untuk gedung hotel yang memiliki load factor yang fluktuatif;
- Kemungkinan terjadinya gangguan unit relatif lebih banyak karena diperlukan jumlah sistem mencapai 40 unit @ 50 TR.

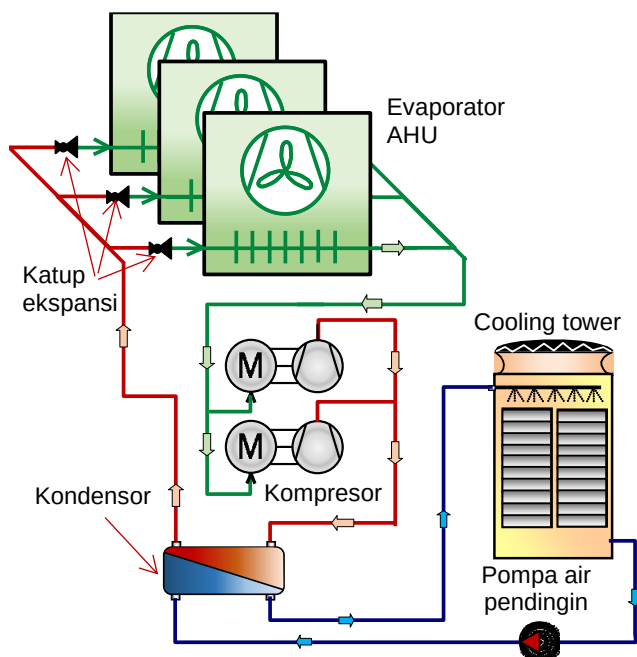
3.1.4. Water cooled package (WCP)

Instalasi sistem AC Water Cooled Packaged (WCP) bisa di lantai atau di atas plafon, atau di lantai atap (roof top). Jarak antara indoor dengan outdoor tidak bisa jauh. Sehingga harus dipasang dekat dengan ruangan yang dikondisikan. Operasi unit WCP ini relatif lebih kompleks, karena sebelum sistem refrigerasi dihidupkan, cooling tower dan cooling water pump harus dijalankan terlebih dahulu. Diagram skematik dari sistem AC WCP dapat dilihat pada Gambar 4.

Karakteristik dan operasional sistem AC water cooled package (WCP) dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Sistem AC WCP adalah direct expansion dengan pendinginan air pada kondensornya;
- Terdiri atas WCP tipe gantung dengan kapasitas pendinginan dengan rentang 9 TR sampai dengan 56 TR [23];
- Untuk studi kasus ini diperlukan sekitar 48 unit WCP dengan kapasitas masing-masing 50 TR;
- Komponen utama sistem refrigerasi, seperti sistem pemipaan refrigeran (liquid maupun gas), kompresor dan kondensor sudah merupakan satu unit packaged;
- Kompresor yang digunakan adalah kompresor scroll inverter;
- Kondensor sistem WCP didinginkan oleh air pendingin dari unit cooling tower secara sentral.
- Diperlukan make up water untuk cooling tower sebesar 13-15 liter/TR.jam;
- Kapasitas sistem yang terpasang merupakan total beban puncak, karena unit bekerja sendiri-sendiri untuk keperluan masing-masing ruangan yang dikondisikan dengan diversity factor 100%;

- Penempatan sistem WCP di ruang dengan jarak yang tidak ada masalah dengan unit cooling tower karena didistribusikan memakai pompa;
- Setiap ruangan atau kelompok ruangan dilayani oleh sistem WCP dengan sistem AHU;
- Umur ekonomis pemakaian umumnya sampai 15 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Kurang flexibel, karena WCP adalah unit standard yang terbatas jumlah row koilnya.
- Instalasi tersebar dan sangat banyak dan belum dapat dikelompokkan sebagai semi-sentral;
- Biaya perawatan menjadi lebih mahal dan lebih menyita waktu;
- Kemungkinan terjadi kerusakan lebih sedikit dibanding dengan Split Unit. Tetapi karena jumlah unit tetap banyak dengan total jumlah 48 unit yang tersebar menurut ruangan yang didinginkan.



Gambar 4. Sistem AC water cooled package (WCP)

3.1.5. Variable refrigerant volume (VRV)

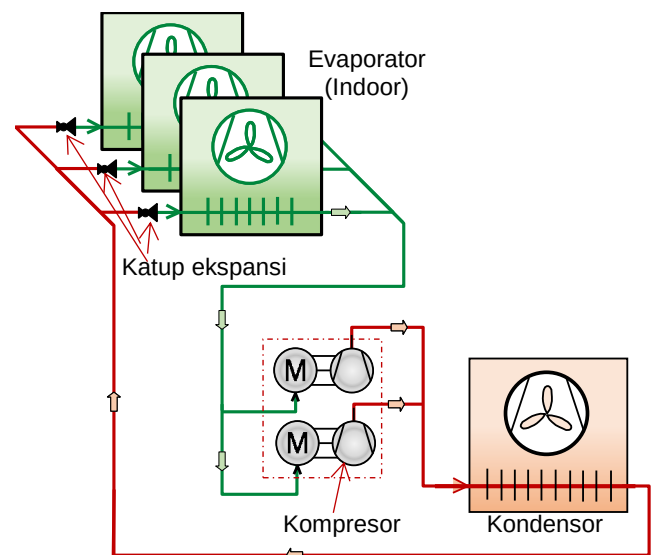
Sistem AC Variable Refrigerant Volume (VRV) adalah salah satu dari jenis sistem Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) di dalam Gedung dengan tipe multi-split yang menggunakan kontrol aliran refrigeran sesuai kebutuhan beban pendinginan. Sistem VRV di dalam gedung dapat menghemat ruang untuk instalasi. Efisiensi ruang ditingkatkan dengan ukuran unit individu yang kompak, panjang perpipaannya maksimum yang panjang.

Selain itu, sistem memberikan fleksibilitas desain yang unggul terutama dalam perubahan tata letak yang dapat dibuat dengan mudah. Unit outdoor dapat ditempatkan di atap atau lantai atau di roof top. Diagram skematik dari sistem AC VRV disajikan pada Gambar 5.

Karakteristik dari sistem AC VRV dapat diuraikan sebagai berikut:

- Sistem AC VRV merupakan sistem AC dengan direct expansion dan tidak sentral, instalasinya tersebar di seluruh gedung menurut beban pendinginan ruangan yang dikondisikan;

- Terdiri atas indoor unit dan outdoor unit, tempat instalasi outdoor unit harus disediakan pada masing-masing lantai;
- Rentang kapasitas dari 6 TR sampai dengan 30 TR;
- Untuk studi kasus ini diperlukan sekitar 80 unit VRV dengan kapasitas masing-masing 30 TR [24];
- Pendinginan kondensor dengan udara lingkungan;
- Jumlah aliran refrigeran di dalam sistem variabel menurut beban pendinginan;
- Kapasitas terpasang adalah total beban puncak, karena unit beroperasi sendiri-sendiri untuk keperluan masing-masing ruang yang dikondisikan dengan diversity factor 100%.
- Jumlah outdoor unit akan sangat banyak dan instalasinya bisa jadi permasalahan untuk gedung hotel yang menonjolkan estetika;
- Setiap ruangan yang dikondisikan dilayani oleh Indoor Unit (IU) dengan rentang kapasitas dari 0.5 TR sampai dengan 20 TR;
- Umur ekonomis pemakaian umumnya sampai 15 tahun dengan asumsi pemeliharaan yang baik;
- Kurang flexible, karena Indoor Unit adalah unit standard yang jumlah row koilnya terbatas;
- Untuk ruang besar diperlukan banyak unit yang tersebar di sekitar ruangan;
- Biaya perawatan lebih mahal dan lebih menyita waktu dibandingkan dengan sistem chiller;
- Kemungkinan terjadi kebocoran refrigeran lebih banyak, karena pelaksanaan pemasangan pipa, pengisian refrigeran dan test dilakukan di tempat instalasi.



Gambar 5. Sistem AC variable air volume (VRV)

3.2. Analisis Kinerja dan Konsumsi Energi

Hasil kajian kinerja sistem AC komersial yang diinvestigasi menunjukkan berbagai variasi kinerja yang dipengaruhi oleh sistem pembuangan panas pada kondensor dan optimasi perpindahan panas pada komponen penukar kalor (kondensor dan evaporator). Kinerja juga sangat dipengaruhi oleh jenis kompresor dan refrigeran yang digunakan.

Kinerja sistem AC secara langsung juga berpengaruh pada konsumsi energinya. Pada Tabel 1 disajikan perbandingan kinerja dan konsumsi daya serta konsumsi energi tahunan yang ditentukan berdasarkan asumsi faktor

penggunaan (use factor) sebesar 75% yang bermakna bahwa sistem AC hanya digunakan selama 75% dari total jam dalam satu tahun.

Tabel 1. Hasil kajian kinerja energi berbagai sistem AC yang diinvestigasi

Sistem AC	Kapasitas terpasang (TR)	COP	Efisiensi (kW/TR)	Konsumsi Daya (kW)	Konsumsi Energi per tahun (kWh)
Water cooled chiller (Centrifugal compressor) [25]	1800	5,79 – 6,29	0,61 – 0,56	1053	6.918,210
Air cooled chiller (rotary crew compressor) [26]	1800	3,34 – 3,40	1,05 – 1,03	1872	12,299,040
Modular air cooled chiller (inverter scroll compressor) [22]	2000	4.10 – 4.35	0,86 – 0,81	1670	10,971,900
Water cooled packaged (WCP) (inverter scroll compressor) [23]	2400	3.55 – 4.29	0,99 – 0,82	2172	14,270,040
Variable refrigerant volume (VRV) inverter scroll compressor) [24]	2400	3,43 – 3,75	1,03 – 0,94	2364	15,531,480

Asumsi: sistem AC hanya beroperasi dengan use factor 75% (beroperasi selama 6570 jam dalam satu tahun (1 tahun = 8760 jam); Variasi kapasitas terpasang disebabkan oleh diversity factor

Berdasarkan karakteristik sistem AC dan hasil analisis yang disajikan pada Tabel 1, maka dapat diidentifikasi keunggulan dan kelemahan masing-masing sistem AC kalau diterapkan pada gedung komersial jenis hotel dengan beban pendinginan yang besar. Gedung hotel memiliki karakteristik dengan load faktor yang sangat fluktuatif dan memberikan keunggulan untuk sistem AC sentral dengan diversity faktor yang relatif lebih baik. Sehingga kapasitas sistem yang terpasang bisa lebih kecil dibandingkan dengan beban pendinginan puncak dari gedung.

Dari aspek kinerja energi juga dapat diidentifikasi bahwa AC jenis water cooled chiller memiliki COP yang tinggi dibandingkan dengan sistem AC lainnya. Dikombinasikan dengan keunggulan kapasitas yang terpasang juga kecil, maka konsumsi energi tahunan untuk AC jenis water cooled chiller juga sangat unggul dengan penghematan energi lebih dari 50% dibandingkan dengan sistem AC jenis WCP dan VRV.

Modular air cooled chiller juga memiliki keunggulan kinerja energi setelah water cooled chiller. Sistem AC ini mengkonsumsi energi sebesar 10,97 GWh per tahun. Dengan konsumsi energi sebesar itu, AC jenis modular air cooled chiller lebih unggul kinerja energinya dibandingkan dengan AC jenis air cooled chiller, WCP dan VRV.

Hasil kajian ini dapat memberikan alternatif pilihan bagi pemilik hotel, konsultan dan kontraktor gedung dalam menetapkan sistem AC yang paling sesuai diterapkan. Juga sangat bermanfaat bagi peneliti untuk melakukan kajian lebih lanjut pada pada berbagai aplikasi termasuk aspek kelayakan ekonomi dari berbagai sistem AC untuk berbagai aplikasi gedung komersial.

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.

Kesimpulan

Evaluasi berbagai jenis sistem AC untuk aplikasi gedung komersial hotel dengan kapasitas pendinginan yang besar sudah dilakukan. Berdasarkan karakteristik sistem AC dan

hasil analisis ditemukan AC jenis water cooled chiller memiliki COP yang tinggi dibandingkan dengan sistem AC lainnya. Dikombinasikan dengan keunggulan kapasitas yang terpasang juga kecil, maka konsumsi energi tahunan untuk AC jenis water cooled chiller juga sangat unggul dengan penghematan energi lebih dari 50% dibandingkan dengan sistem AC jenis WCP dan VRV, sekitar 44% dibandingkan dengan sistem AC air cooled chiller dan 37% dibandingkan dengan sistem AC modular air cooled chiller.

Modular air cooled chiller juga memiliki keunggulan kinerja energi setelah water cooled chiller. Sistem AC ini mengkonsumsi energi sebesar 10,97 GWh per tahun. Dengan konsumsi energi sebesar itu, AC jenis modular air cooled chiller lebih unggul kinerja energinya dibandingkan dengan AC jenis air cooled chiller, WCP dan VRV.

Daftar Pustaka

- [1] ICED, "Indonesia Clean Energy Development", 2015, [online] available at: www.iced.or.id (Accessed 27 Jul. 2020).
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] US Department of Energy, "Building energy data book", 2011, [online] available at: <https://catalog.data.gov/dataset/buildings-energy-data-book> (Accessed 12 Jul. 2020).
- [5] Building energy conservation research center, "Annual Report on China Building Energy Efficiency", 2017, [online] available at: <https://berc.bestchina.org/Files/CBEU2017.pdf> (Accessed 10 Jul. 2020).
- [6] F.W. Yu and K.T. Chan, "Improved energy management of chiller systems by multivariate and data envelopment analyses", *Appl Energy* 92, 2012, pp. 168-74.

- [7] L. Jayamaha, "Energy-efficient building systems: green strategies for operation and maintenance", 1st ed. McGraw-Hill, US, 2006.
- [8] F.W. Yu and K.T. Chan, "Experimental determination of the energy efficiency of an air cooled chiller under part load conditions", *Energy*, 30, 2005, pp. 1747-58.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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 020042.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Building energy data United States, 2010, [online] available at: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx> [Accessed 10 Nov. 2021].
- [20] 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.
- [21] Glenn Hawkins, "Rules of thumb guidelines for building services", 5th ed., BSRIA, 2011, pp. 101
- [22] Trane, "Modular Air-cooled Chillers: High Seasonal Efficiency (HSE) version cooling capacity 48 - 232 kW", 2017, pp. 8, available at: www.trane.com/WEBCACHE/CG-SLB043-GB_07012017.PDF.
- [23] Daikin, "Water Cooled Packaged Unit", Daikin Industries, Ltd., 2021, pp. 39, available at: https://www.daikin.com.sg/resources/ck/files/catalogue/Watercooled%20package_UCCP.pdf.
- [24] Daikin, "VRV III", Daikin Industries, Ltd., 2021, pp. 24, available at: <http://www.daikinac.com/content/assets/DOC/Product%20Brochures/PCVUSE13-05C-VRVIII-Brochure-Daikin-AC.PDF>.
- [25] Daikin, "Water Cooled Centrifugal Chiller", Daikin Industries, Ltd., 2021, pp. 16, available at: <https://www.daikin.com.sg/resources/ck/files/catalogue/HTS%20-%20Water%20Cooled%20Centrifugal%20Chiller.pdf>.
- [26] Trane, "Air-cooled Chillers: A full portfolio of solutions for comfort and process applications", 2020, pp. 12, available at: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/equipment/chillers/air-cooled/PROD-SLB049-EN_0923 2020.pdf.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Meningkatkan keandalan penyulang Buruan dengan pemasangan tekep isolator

I Wayan Jondra^{1*}, I Ketut Parti¹, I Ketut Ta¹, dan Ni Putu Indah Permata Sari¹

¹Politeknik Negeri Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Badung, 80364, Indonesia

*Email: wjondra@pnb.ac.id

Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting. Energi listrik menjadi sangat penting karena hampir semua peralatan yang digunakan bersumber dari listrik, sehingga diharapkan dapat menyediakan listrik secara terus – menerus dengan mutu dan keandalan yang mampu memenuhi kebutuhan masyarakat. Kehandalan merupakan kunci untuk menekan SAIDI dan SAIFI. Proses penyaluran energi listrik ada kemungkinan mengalami gangguan – gangguan, seperti gangguan temporer yang disebabkan oleh binatang maupun alam. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kehandalan sistem distribusi tenaga listrik di Penyulang Buruan PT. PLN (Persero) ULP Sanur, dengan menggunakan data gangguan pada tahun 2018 dan 2019. Metode penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Pada tahun 2018, nilai SAIDI sebesar 3,307 jam per tahun dan nilai SAIFI sebanyak 7 kali per tahun. Sedangkan jika dipasang tekep isolator tahun 2019, nilai SAIDI akan turun menjadi 0,16 jam per tahun dan nilai SAIFI sebanyak 2,9 kali per tahun. Pemasangan tekep isolator akan membantu mencapai target dari WCS PLN DISTRIBUSI BALI 2004 dengan target Nilai SAIDI sebesar 1,023 jam per tahun, namun nilai SAIFI sebanyak 1,65 kali per tahun belum mampu diacapai. Untuk itu, adapun upaya mengurangi gangguan, yaitu dengan pemasangan tekep isolator dan melakukan pemeliharaan secara berkala sehingga diharapkan kedepannya dapat menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI di Penyulang Buruan.

Kata kunci: Gangguan Temporer, Cover Isolator, Kehandalan

Abstract: *Electrical energy is the most important needs. Electrical energy is very important because so many equipment consumed of electricity, so it is expected the quality and reliability to be able that provide to meet the needs of consumers. Reliability is the key to minimize SAIDI and SAIFI. So many disturbance in the distribution electrical energy process, one of them is temporary disturbance caused by animals and nature. This study aims to improve the reliability of the power distribution system at Penyulang Buruan PT. PLN (Persero) ULP Sanur, using disturbance data that occurred in 2018 and 2019. This study is quantitative research. In 2018, the value of SAIDI was 3.307 hours/year/consumer and the value of SAIFI was 7 times/year/consumer. Whereas through installation the insulation cover in 2019, the value of SAIDI decrease to 0.16 hours/year/consumer and the value of SAIFI is 2.9 times/year/consumer. That is reached the target of the 2004 BALI PLN DISTRIBUTION WCS with a SAIDI value of 1,023 hours/year/consumer but did not for SAIFI value, because the target is 1.65 times/year/consumer. For this reason, efforts are made to reduce disturbances, such as the insulator cover applied and maintenance, so that it is hoped that in the future it can reduce the value of SAIDI and SAIFI in the Buruan Feeder.*

Keywords: *Temporary Disturbances, Cover Insulator, Reliability*

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam berbagai kegiatan [1]. Energi listrik menjadi sangat penting karena hampir semua peralatan yang digunakan bersumber dari listrik. Energi listrik merupakan salah satu energi yang paling banyak di konsumsi dalam suatu negara. Sehingga jika dapat dikelola dengan baik, energi listrik dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi. PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan listrik Negara, khususnya pada bidang

distribusi, dituntut untuk menjaga kualitas energi listrik yang disalurkan. Sehingga dapat menyediakan pelayanan secara terus – menerus serta merata, dengan mutu dan keandalan yang mampu memenuhi kebutuhan masyarakat [2]. Agar mencapai hal tersebut, diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang handal dan mumpuni.

Untuk mengetahui kehandalan suatu sistem tenaga listrik maka ditetapkan suatu indeks kehandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi [3]. Indeks - indeks kehandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (System

Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Frequency Index). Tetapi, dalam pelaksanaannya suatu sistem tenaga listrik tidak lepas dari berbagai macam gangguan yang dapat menyebabkan menurunnya keandalan sistem.

Salah satu faktor, yang menyebabkan menurunnya mutu dan ketersediaan pelayanan daya listrik, pada sistem distribusi adalah gangguan pada penyulang. Dimana penyebab gangguan tersebut sangat beraneka ragam. Seperti halnya gangguan pada SUTM disebabkan oleh beberapa faktor seperti gangguan komponen dan peralatan, gangguan pohon, binatang dan layang-layang [4].

Peristiwa seperti ini, banyak di jumpai di Denpasar yang merupakan wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Sanur. Dari sekian banyak penyulang yang berada pada wilayah ULP Sanur, menurut data PT PLN (PERSERO) ULP Sanur tahun 2018 yang memiliki gangguan paling banyak, berada di penyulang Buruan yaitu sebanyak 7 kali. Penyulang Buruan terletak di daerah Denpasar Timur yang merupakan daerah pesisir pantai. Dimana angin di daerah pesisir pantai tersebut banyak mengandung garam yang dapat menyebabkan konstruksi yang ada di Penyulang Buruan ini cepat berkarat, sehingga hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya gangguan di penyulang itu sendiri. Hal ini berdampak kepada menurunnya kepuasan pelanggan terhadap pelayanan pasokan tenaga listrik yang berujung pada seringnya pengaduan yang terjadi ke pihak PLN.

Untuk mengatasi permasalahan ini maka diperlukan upaya – upaya untuk mengurangi terjadinya gangguan dan meningkatkan indeks keandalan. Salah satu upaya tersebut yaitu dengan pemasangan tekep isolator. Dengan pemasangan tekep isolator ini diharapkan dapat memperbaiki nilai SAIDI dan SAIFI di Penyulang Buruan.

Memperhatikan uraian di atas, maka penulis merumuskan artikel berjudul “Perbaikan SAIDI Dan SAIFI Penyulang Buruan Dengan Pemasangan Tekep Isolator”. Melalui artikel ini penulis mengharapkan dapat memperbaiki nilai SAIDI dan SAIFI dengan pemasangan tekep isolator.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Metode ini berisi tentang Teknik Pengumpulan Data dan Teknik Analisis Data.

2.1. Teknik Pengumpulan Data

2.1.1. Dokumentasi

Dokumentasi adalah barang – barang tertulis. Di dalam melaksanakan metode dokumentasi, data diperoleh dengan menyelidiki benda – benda tertulis seperti buku – buku, peraturan - peraturan dan jurnal – jurnal. Referensi yang dimaksud seperti analisa gangguan pada jaringan tegangan menengah (JTM), analisa gangguan temporer dan analisa keandalan pada sistem distribusi yang akan digunakan untuk membantu mengurangi terjadinya gangguan pada konstruksi.

2.1.2. Observasi

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Sanur, dimana data yang diperoleh yaitu single line penyulang Buruan, penyebab gangguan, panjang saluran, jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman, jumlah pelanggan yang dilayani, durasi gangguan dan sebagainya.

2.2. Teknik Analisis Data

Setelah data terkumpul, maka langkah selanjutnya adalah menganalisis data tersebut. Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif yaitu riset yang hasil analisisnya disajikan dalam bentuk angka – angka yang kemudian dijelaskan dalam bentuk uraian.

Dalam penelitian ini, digunakan teknik analisis data secara statistik. Perumusan yang akan digunakan adalah rumus untuk mencari nilai SAIDI dan SAIFI. Adapun rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut [5] :

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^m C_i \cdot t_i}{N} \quad (1)$$

Dimana :

m = jumlah pemadaman dalam satu tahun

C_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

t_i = lamanya tiap – tiap pemadaman

N = Jumlah konsumen yang dilayani

Atau sesuai dengan buku Jasa Diklat PT. PLN (PERSERO), maka SAIDI dapat dihitung dengan:

$$SAIDI = \frac{TOTAL DURASI PEMADAMAN}{TOTAL JUMLAH PELANGGAN YANG DILAYANI} \quad (2)$$

dan untuk

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{N} \quad (3)$$

Dimana :

m = jumlah pemadaman dalam satu tahun

C_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Jumlah konsumen yang dilayani

Atau sesuai dengan buku Jasa Diklat PT. PLN (PERSERO), maka SAIDI dapat dihitung dengan:

$$SAIFI = \frac{TOTAL GANGGUAN PADA PELANGGAN}{JUMLAH SELURUH PELANGGAN} \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Gangguan

Tabel 1. Data Trip Penyulang Buruan Tahun 2018

No	Tanggal	Durasi Padam (Jam)	Pelanggan Padam
1	5 Jan 2018	0,20	3.350
2	16 Jan 2018	1,15	3.124
3	20 Jan 2018	0,05	3.260
4	29 Mei 2018	0,09	3.350
5	2 Juni 2018	0,4	3.086
6	13 Nov 2018	0,70	2.960
7	1 Des 2018	0,94	3.188

Tabel 2. Data Trip Penyulang Buruan Tahun 2019

No	Tanggal	Durasi Padam (Jam)	Pelanggan Padam
1	3 Feb 2019	0,51	3.278
2	5 Mei 2019	0,02	3.146
3	7 Okt 2019	0,11	3.350
4	25 Nov 2019	0,03	3.212
Gangguan yang terjadi pada tanggal 3 Feb 2019 disebabkan oleh gangguan binatang			
		0,65	
		3.260	

3.2. Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI

Berdasarkan data gangguan yang telah diperoleh seperti terlihat dalam tabel 1, adapun hasil perhitungan nilai SAIDI dan SAIFI di Penyulang Buruan dengan pelanggan 3.350 pada tahun 2018 dan 2019 yaitu, sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI

No	Penyulang	SAIDI	SAIFI
1	2018	3,327	7
2	2019	0,65	4

3.3. Akumulasi Potensi Gangguan Temporer

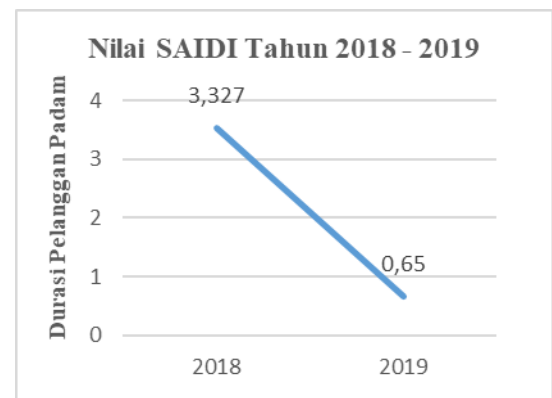
Berdasarkan hasil yang didapat setelah melakukan survey lapangan. Adapun akumulasi dari potensi terjadinya gangguan temporer di Penyulang Buruan, yang dapat dilihat pada tabel 3 yaitu, sebagai berikut:

Tabel 4. Akumulasi Potensi Gangguan Temporer

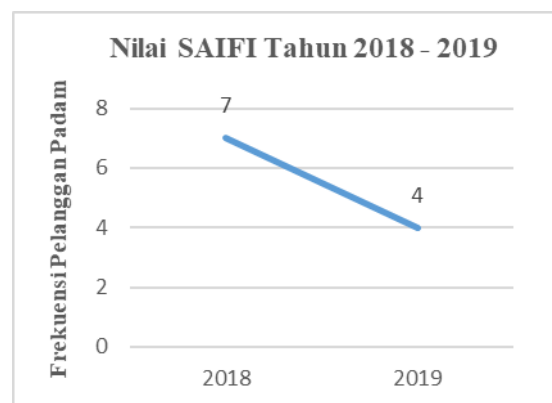
No	Keadaan Alat	Potensi Gangguan	Total
1	Strain Clamp Terbuka	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di sambungan Strain Clamp yang terbuka	84
2	Jumperan CCO Terbuka	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di Jumperan CCO yang terbuka	21
3	Konstruksi LLC terbuka	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di konstruksi LLC yang terbuka	75
4	Penghantar A3C Dekat Pohon	Mengakibatkan gangguan jika penghantar terkena pohon yang berada di dekat penghantar	1
5	FCO bawah belum dipasang perisai binatang	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di FCO bawah yang terbuka	9
6	Joint Konstruksi A3C Terbuka	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di Joint Konstruksi A3C yang terbuka	3
7	Joint konstruksi A3CS dan MVTIC terbuka	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di Joint Konstruksi A3CS dan MVTIC yang terbuka	9
8	Perisai binatang yang dipasang di arrester dalam keadaan miring	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di arrester tersebut	2
9	Perisai binatang yang dipasang di arrester berlubang atau rusak	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di arrester tersebut	1
10	Penangkap petir Arc Protection Device Terbuka	Mengakibatkan gangguan jika hewan hinggap di sambungan penangkap petir Arc Protection Device yang terbuka	11
11	Isolator Tumpu Pada Penghantar A3C	Mengakibatkan gangguan jika hewan dan pohon mengenai isolator tumpu tersebut	18
Jumlah total			228

3.4. Analisis

3.4.1. Perbandingan Nilai SAIDI dan SAIFI



Gambar 1. Grafik Perbandingan Nilai SAIDI



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai SAIFI

Berdasarkan gambar di atas, diketahui bahwa nilai SAIDI pada tahun 2018 sampai dengan 2019 mengalami penurunan sebesar 2,677 jam per tahun sedangkan nilai SAIFI pada tahun 2018 sampai dengan 2019 mengalami penurunan sebanyak 3 kali per tahun.

Salah satu upaya yang dilakukan PT.PLN (Persero) untuk menjadi perusahaan bertaraf internasional adalah tercapainya standar SAIDI dan SAIFI yang ditetapkan oleh WCS (World Customer Services) dimana sesuai Keputusan Direksi PLN No:119.K/010/DIS/2004 PLN mendeklarasikan target nilai SAIDI dan SAIFI yaitu SAIDI sebesar 1,023 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebanyak 1,65 kali/pelanggan/tahun. Berdasarkan target tersebut, dapat dikategorikan bahwa nilai indeks keandalan penyulang Buruan kurang baik, sehingga perlu dilakukan upaya – upaya untuk meningkatkan keandalannya. Dimana konstruksi – konstruksi yang masih terbuka agar segera dilindungi. Sehingga dapat melindungi konstruksi dari gangguan yang disebabkan oleh binatang ataupun alam.

3.4.2. Analisis Upaya yang Dapat Dilakukan Untuk Mengatasi Gangguan Temporer

Untuk mengatasi 228 potensi gangguan seperti yang tertuang dalam data Akumulasi Potensi Gangguan Temporer di tabel 4, upaya yang dapat dilakukan sesuai dengan jenis permasalahan yang terjadi. Upaya-upaya penting yang dapat dilakukan dalam menghindari terjadinya

gangguan sehingga dapat menekan nilai SAIDI dan SAIFI yaitu, sebagai berikut:

1. Strain Clamp terbuka dapat mengakibatkan 84 titik gangguan jika hewan hinggap di sambungan Strain Clamp yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan Tekep Isolator Tarikan/Hang (Type : YS-Strainclamp-70-240 AP) atau asesoris lainnya.
2. Jumperan CCO Terbuka dapat mengakibatkan 21 titik gangguan jika hewan hinggap di Jumperan CCO yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan Tekep Isolator Connector/ CCO (Type : YS-Strainclamp-70-240 AP) atau asesoris lainnya.
3. Konstruksi LLC terbuka dapat mengakibatkan gangguan 75 titik gangguan jika hewan hinggap di konstruksi LLC yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan Tekep Isolator Connector/ LLC (Type : YS-Connector-70-240 AP) atau asesoris lainnya.
4. Penghantar A3C dekat pohon, dapat mengakibatkan 1 titik gangguan jika penghantar terkena pohon yang berada di dekat penghantar, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan Penghantar A3CS atau memasang treeguard, atau memasang tekep Isolator Type YS-L atau YS-B dikombinasikan dengan Type YS-EXT-150 AP atau asesoris lainnya.
5. FCO bawah belum dipasang perisai binatang berpotensi mengakibatkan 9 titik gangguan jika hewan hinggap di FCO bawah yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan Perisai Binatang FCO bawah, atau dengan pemasangan tekep isolator Type YS-CO-70-240 AP atau asesoris lainnya.
6. Joint konstruksi A3C terbuka dapat mengakibatkan gangguan 3 titik gangguan jika hewan hinggap di Joint Konstruksi A3C yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan treeguard, Tekep Isolator Extention atau asesoris lainnya dan menjaga ROW.
7. Joint konstruksi A3CS dan MVTIC terbuka dapat mengakibatkan 9 titik gangguan jika hewan hinggap di Joint Konstruksi A3CS dan MVTIC yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan Pemasangan Heat Shrink atau asesoris lainnya.
8. Perisai binatang yang dipasang di arrester dalam keadaan miring, dapat mengakibatkan 2 titik gangguan jika hewan hinggap di arrester tersebut, hal ini dapat ditanggulangi dengan memperbaiki konstruksi dengan melengkapi heatshrink pada kabel schoon, mengencangkan baut terminasi. Pergantian Perisai Binatang Arrester, dengan produk yang sama atau dengan tekep isolator Type YS-BUS-ARR-70-240 AP atau asesoris lainnya.
9. Perisai binatang yang dipasang di arrester berlubang atau rusak, dapat mengakibatkan 1 titik gangguan jika hewan hinggap di arrester tersebut, hal ini dapat ditanggulangi dengan memperbaiki konstruksi dengan melengkapi heatshrink pada kabel schoon, mengencangkan baut terminasi. Pergantian Perisai Binatang Arrester, dengan produk yang sama atau dengan tekep isolator Type YS-BUS-ARR-70-240 AP atau asesoris lainnya.

10. Penangkap petir Arc Protection Device jenis terbuka dapat mengakibatkan 11 titik gangguan jika hewan hinggap di sambungan penangkap petir Arc Protection Device yang terbuka, hal ini dapat ditanggulangi dengan Pemasangan arrester karena dapat dikatakan lebih efektif sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan
11. Isolator tumpu pada penghantar A3C dapat mengakibatkan 18 titik gangguan jika hewan dan pohon mengenai isolator tumpu tersebut, hal ini dapat ditanggulangi dengan pemasangan Tekep Isolator Extention Type YS-L atau YS-B dikombinasikan dengan Type YS-EXT-150 AP Extention, atau peralatan lain dengan fungsi yang sama

3.4.3. Analisis Prediksi SIDI SAIFI

Dari data di atas dapat dikatakan yaitu jika upaya di atas dilakukan seluruhnya maka kemungkinan besar gangguan yang disebabkan oleh binatang dapat dihindari, dikarenakan semua alat – alat ataupun konstruksi yang memungkinkan terjadinya gangguan yang disebabkan oleh binatang sudah dilindungi dengan baik. Sehingga dapat meningkatkan indeks keandalan pada penyulang itu sendiri.

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum_{i=1}^m C_i \cdot t_i}{N} = \frac{(0,02 \times 3146) + (0,11 \times 3.350) + (0,03 \times 3.212)}{3.350} = 0,16$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{TOTAL GANGGUAN PADA PELANGGAN}}{\text{JUMLAH SELURUH PELANGGAN}} = \frac{(1 \times 3146) + (1 \times 3.350) + (1 \times 3.212)}{3.350} = 2,9$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jika upaya mengatasi gangguan temporer yaitu pemasangan tekep isolator dilakukan pada bagian yang masih terbuka atau belum dilindungi, maka kehandalan jaringan meningkat karena turnnya nilai SAIDI dari 0,65 jam/pelanggan/tahun menjadi 0,16 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI dari 4 pelanggan/tahun menjadi akan turun menjadi 2,9 pelanggan/tahun.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan yang baik ini saya sampaikan ucapan terimakasih kepada Direktur Politeknik Negeri Bali beserta jajaran yang telah memberi kesempatan saya untuk menyelesaikan tulisan ini, Demikian pula kepada Yth General Manager PLN Unit Induk Distribusi Bali yang telah memberikan pembiayaan dalam penyelesaian tulisan ini.

Daftar Pustaka

- [1] A. Wahid, dkk. “Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura”, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- [2] I. N. Shofyah. “Analisis Gangguan Penyulang Akibat Layang-Layang Di PT PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Barat dan Banten Area Garut Rayon Garut Kota”, Universitas Indonesia, Jawa Barat, 2014.

- [3] A. T. Prabowo, dkk. “Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pekalong 8 Dan 11”, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] V. R Yandri, N. Y. Kahar. “Studi Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Di Wilayah Kerja PT. PLN (PERSERO) Rayon Kayu Aro Dengan Menggunakan Regresi Linear SPSS”, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.
- [5] SPLN No 59. “Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 Kv Dan 6 kV”. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara. 1985.



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

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

Monitoring PLTS dan PLTB kincir vertikal dengan sistem hybrid berbasis Internet Of Things (IoT)

I Gusti Ngurah Wirahadi Wijaya^{1*}, I Ketut Parti¹, dan Lalu Febrian Wiranata¹

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

*Email: wirahadiwijaya19019@gmail.com

Abstrak

Krisis energi pada masa ini, membuat kita belajar akan memanfaatkan atau mengembangkan suatu sumber daya energi terbarukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui layaknya seperti batubara. Penggunaan sumber daya energi terbarukan ini sangat ramah lingkungan serta bisa meminimalisir dampak buruk dari penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik. Metode dalam penelitian sistem monitoring energi solar dan wind kincir vertikal dengan sistem hybrid berbasis internet of things. Memonitoring kedua pembangkit solar dan wind dengan sistem hybrid menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengolahan data yang di dapat dari sensor yang digunakan untuk penelitian dan NodeMCU yang digunakan sebagai proses pengiriman datanya, data hasil tersebut dapat dimonitoring melalui smartphone ataupun pc dengan sebuah website. Hasil pengujian sistem monitoring energi solar dan wind kincir vertikal dengan sistem hybrid berbasis internet of things, dapat membaca keluaran yang diberikan oleh kedua pembangkit energi solar dan wind. Sensor yang digunakan dalam pengujian ini Sensor tegangan DC yang memiliki galat rata – rata 0,085%, sensor arus DC ACS712 30 yang memiliki galat rata – rata 0,14%, sensor tegangan AC ZMPT101B yang memiliki galat rata – rata 0.37%, sensor arus AC712 5A yg memiliki galat rata – rata 80.9%, dari ketiga sensor tersebut bisa dikatakan pembacaan sensor yang presisi sedangkan penggunaan ACS712 5A dikatakan tidak presisi karena arus yang dibaca oleh sensor bisa kurang dari 0A ataupun dalam pembacaan mA.

Kata kunci: pembangkit hybrid, mikrokontroler, webserver, monitoring, internet of things

Abstract: The energy crisis at this time makes us learn to utilize or develop a renewable energy resource to reduce the use of non-renewable fossil fuels such as coal. The use of renewable energy resources is very environmentally friendly and can minimize the negative impact of using fossil fuels for power generation. The method in researching solar energy monitoring systems and vertical windmills with a hybrid system based on the internet of things. Monitoring both solar and wind generators with a hybrid system using the Arduino Uno microcontroller as data processing obtained from the sensors used for research and the NodeMCU used as the data transmission process, the resulting data can be monitored via a smartphone or PC with a website. The test results of the solar energy monitoring system and vertical windmill with a hybrid system based on the internet of things can read the output given by both solar and wind energy generators. The sensor used in this test is a DC voltage sensor which has an average error of 0.085%, and ACS712 30 DC current sensor which has an average error of 0.14%, an AC voltage sensor ZMPT101B which has an average error of 0.37%, an AC712 current sensor 5A which has an average error of 80.9%, from the three sensors it can be said that the sensor reading is precise while the use of ACS712 5A is said to be imprecise because the current read by the sensor can be less than 0 Ampere or in mA readings.

Keywords: Generator hybrid, mikrokontroler, webserver, monitoring, internet of things

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Energi Listrik merupakan komponen yang sangat penting dalam kebutuhan yang kita gunakan pada saat ini maupun di masa depan. Energi listrik yang kita gunakan masih berasal dari sebuah pembangkit listrik konvensional yang dimana sumber energinya masih menggunakan bahan bakar fosil. Pembangkit listrik konvensional pada masa ini bisa saja akan membuat berbagai ancaman yang akan muncul seperti makin bertambah banyaknya polusi yang

akan timbul serta sumber daya cadangan dari bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi dan batubara yang akan semakin berkurang. Masalah seperti ini akan memberikan dampak yang sangat buruk bagi generasi masa depan [1,2].

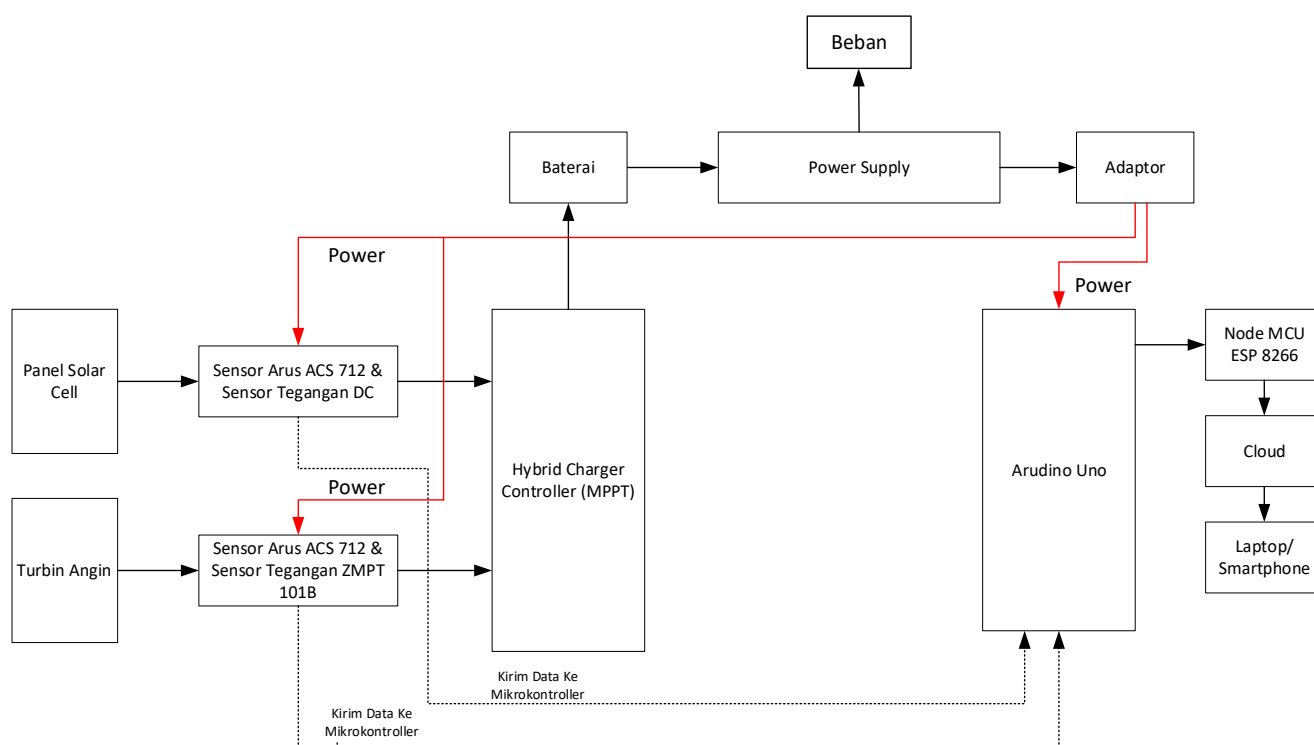
Kebutuhan energi yang semakin meningkat dari hari ke hari disebabkan oleh adanya beberapa faktor diantaranya meningkatnya jumlah penduduk, peningkatan taraf hidup masyarakat yang semakin tinggi, jumlah kendaraan yang

semakin meningkat dari hari ke hari serta semakin meningkatnya pertumbuhan industri yang semakin berkembang [2]. Penelitian ini penulis ingin mengimplementasi perangkat monitoring energi solar dan wind dengan sistem *hybrid* berbasis IoT. Perangkat monitoring berbasis *Internet of things* dengan menggunakan *webserver* [3]. Perancangan monitoring energi listrik berbasis internet ini dirancang untuk mendapatkan informasi-informasi yang berhubungan dengan pengukuran energi listrik antara lain Real Power (Watt), Voltage (V), dan Current (A) secara real time [4,5].

Dalam sistem monitoring energi solar dan wind dengan sistem *hybrid* berbasis IoT ini terdapat dua energi yang akan di monitoring dengan mikrokontroller, energi surya dan energi angin, dari kedua energi tersebut mana yang lebih maksimal untuk menyimpan energi listrik kedalam sebuah baterai 12 Volt DC, dan hasil dari monitoring tersebut akan dikirimkan ke sebuah website [6-9].

2. Metode dan Bahan

Penelitian ini menggunakan pemodelan sistem seperti Blok Diagram Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram pemodelan monitoring PLTS dan PLTB kincir angin vertikal

Penjelasan Fungsi Block Diagram Sistem:

1. Sumber Utama: sumber energi yang dihasilkan berupa energi listrik yang bersumber dari energi matahari menggunakan panel surya dan energi angin yang didapatkan dari turbin angin.
2. Hybrid Charger Controller (MPPT): menggabungkan keluaran pada wind dan pv sehingga menghasilkan keluaran yang stabil untuk mencatu *battery*.
3. Baterai 12 Volt DC: digunakan sebagai penyimpanan suatu energi listrik yang didapat dari kedua pembangkit, panel surya dan generator wind.
4. Inverter: berfungsi sebagai alat pengubah tegangan DC (*direct current*) menjadi tegangan AC (*alternating current*) 220 Volt AC.
5. Sensor arus dan tegangan: digunakan sebagai parameter dalam pembacaan tegangan dan arus yang dihasilkan dari kedua pembangkit yang kemudian hasil pembacaan di kirim ke mikrokontroller.
6. Arduino : berfungsi sebagai pembacaan data – data nilai yang di dapat dari sensor – sensor yang di gunakan.

7. *NodeMCU ESP8266* : berfungsi sebagai alat pengiriman suatu data ke suatu website.
8. Adaptor : difungsikan sebagai pemberi tegangan 5v ke mikrokontroller.
9. Cloud : digunakan sebagai tempat penyimpanan data – data yang dikirimkan mikrokontroller untuk di simpan pada cloud server.

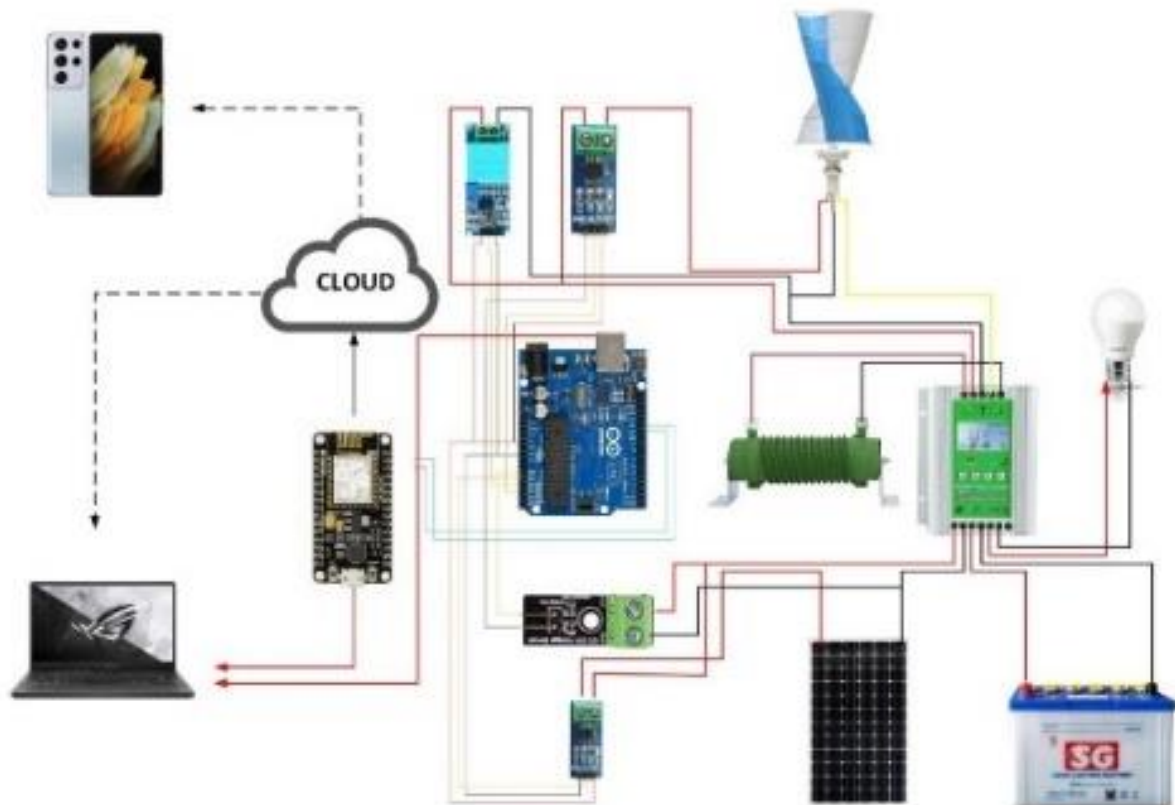
Blok diagram merupakan sistem monitoring secara keseluruhan, terdapat berbagai macam sensor, mulai dari sensor tegangan dc, sensor arus ACS712 serta sensor tegangan AC

ZMPT101B, terdapat dua buah mikrokontroller yang digunakan seperti Arduino Uno dan *NodeMCU ESP8266*. Pada penggunaan sensor tegangan DC yang terhubung dengan pin Analog A0 pada arduino serta sensor arus ACS712 30A yang terhubung dengan pin Analog A1 pada Arduino sebelum diterima oleh MPPT, tegangan dan arus yang di dapat dari panel surya (PV) masuk melalui sensor tegangan DC serta sensor arus ACS712 30A. Kedua sensor ini yang akan memberikan sebuah nilai data ke Arduino yang selanjutnya dilakukan pengolahan data pada Arduino. Hasil pengolahan data ini akan dikirimkan ke *NodeMCU ESP8266* dengan menggunakan komunikasi serial.

NodeMCU ESP8266 akan mengirimkan hasil data yang diterima dari Arduino ke dalam sebuah database cloud *MySQL website/ webserver*, hasil data yang dikirimkan ke database oleh *NodeMCU ESP8266* ditampilkan pada sebuah user interface U/I pada halaman website yang bisa diakses melalui *smartphone / laptop* dengan menggunakan jaringan lokal yang digunakan.

Pada penggunaan sensor tegangan AC *ZMPT101B* yang terhubung dengan pin analog A2 pada Arduino serta sensor arus *ACS712 5A* yang terhubung dengan pin analog A3 pada Arduino sebelum diterima oleh MPPT. Tegangan dan arus yang di dapat dari turbin angin masuk melalui sensor

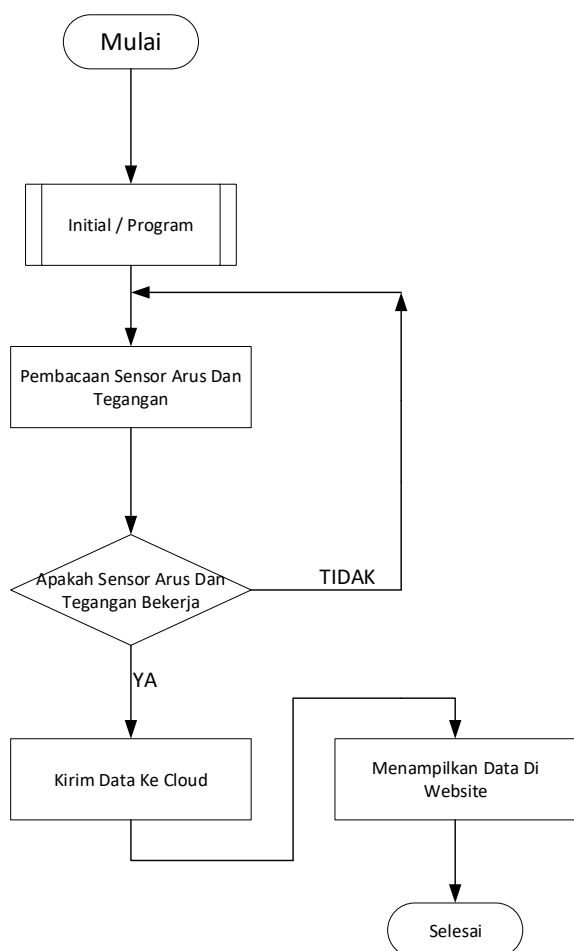
tegangan AC *ZMPT101B* serta sensor arus *ACS712 5A*. Kedua sensor ini yang akan memberikan sebuah nilai data ke Arduino yang selanjutnya dilakukan pengolahan data pada Arduino. Hasil pengolahan data ini akan dikirimkan ke *NodeMCU ESP8266* dengan menggunakan komunikasi serial. *NodeMCU ESP8266* akan mengirimkan hasil olahan data yang diterima dari Arduino ke dalam sebuah database cloud *MySQL website/ webserver*, hasil data yang dikirimkan ke database oleh *NodeMCU ESP8266* ditampilkan pada sebuah user interface U/I pada halaman website yang bisa diakses melalui *smartphone / laptop* dengan menggunakan jaringan lokal yang digunakan.



Gambar 2. Sistem monitoring hybrid PLTS dengan PLTB

Diagram alir pada Gambar 3 merupakan prinsip kerja dari sistem monitoring energi solar dan wind dengan sistem hybrid berbasis internet of things (IoT). Diagram alir, tahapan dimulai dengan initial/program yang bertujuan untuk mengkalibrasi sensor *ACS712* serta sensor tegangan AC *ZMPT101B* kedua sensor ini harus mendapatkan tahapan berdasarkan kalibrasi agar hasil yang didapat sesuai dengan yang diinginkan, selanjutnya membaca sensor menggunakan *ACS712* dan sensor tegangan DC serta sensor tegangan AC *ZMPT101B* untuk membaca arus dan tegangan yang dapat dari kedua sistem

pembangkit listrik. Tahapan berikutnya menentukan apakah sensor arus *ACS712* dan sensor tegangan DC serta sensor tegangan AC *ZMPT101B* bekerja dengan baik untuk mendapatkan data yang sesuai. Proses selanjutnya mengirimkan semua data yang didapat untuk dikirimkan ke database cloud *MySQL* dengan menggunakan *NodeMCU ESP8266*. Proses terakhir menampilkan data di halaman website yang dapat akses dengan menggunakan PC/*Smartphone*. Data – data yang ditampilkan di halaman website berupa data real-time.



Gambar 3. Diagram alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sensor Tegangan DC dan Arus DC

Pengujian yang dilakukan untuk melihat kemampuan kerja dari kedua sensor yaitu sensor tegangan DC dan sensor arus DC ACS712. Pada pengujian sensor tegangan DC menggunakan sumber tegangan DC yang didapat dari panel surya, melalui beberapa tahapan yang pertama menghubungkan keluaran tegangan 0 – 25 VDC pada catu daya inputan sensor tegangan DC pada sistem monitoring, yang kedua melakukan pengambilan data pada alat monitoring yang diambil dalam rentang waktu 20 menit selama 7 hari. Hasil pengujian sensor tegangan DC dapat berupa tabel dan grafik.

%Galat Relatif =

$$\frac{V_{out} \text{Pengukuran Multimeter} - V_{out} \text{Sensor}}{V_{out} \text{Pengukuran Multimeter}} \times 100 \quad (1)$$

%Galat Rata – Rata =

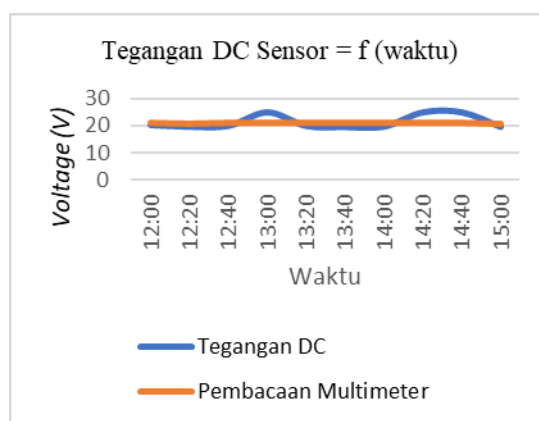
$$\frac{\text{Jumlah Data Error}}{N} \quad (2)$$

Pada tanggal 5 Agustus 2021 dilakukan pengujian sensor tegangan DC yang diuji setiap 20 menit mulai dari jam 12.00 – 15.00 WITA selama 1 hari, data galat relatif yang didapat dari pengamatan tabel 4.13 dapat dilakukan perhitungan galat relatif dengan menggunakan persamaan. Dari hasil dari perhitungan galat sensor

tegangan DC didapatkan nilai rata – rata galat sensor sebesar 0.085%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor tegangan DC bekerja dengan baik.

Tabel 1. Data sensor tegangan DC solar panel 5 Agustus 2021

Hari 1 waktu	Tegangan DC	Pembacaan Multimeter	Galat
12:00	20.39	21.2	0.03
12:20	19.78	20.7	0.04
12:40	20.09	21.2	0.05
13:00	24.98	21.2	0.17
13:20	20.07	21.2	0.05
13:40	19.68	21.2	0.07
14:00	19.82	21.2	0.06
14:20	24.98	21.2	0.17
14:40	24.98	21.2	0.17
15:00	19.75	20.52	0.04
Galat Rata - Rata			0.085



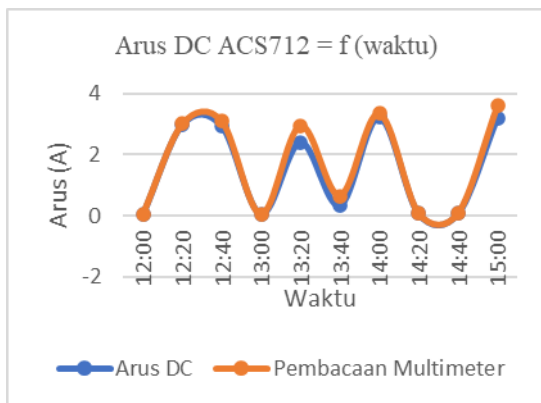
Gambar 4. Grafik sensor tegangan DC 5 Agustus 2021

Tabel 2. Data Sensor Arus DC Solar Panel 5 Agustus 2021

Hari 2	Arus DC	Pembacaan Multimeter	Galat
12:00	0.03	0.03	0
12:20	2.96	3	0.01
12:40	2.92	3.1	0.05
13:00	0.06	0.04	0.5
13:20	2.39	2.95	0.18
13:40	0.34	0.65	0.47
14:00	3.21	3.35	0.04
14:20	0.07	0.07	0
14:40	0.07	0.07	0
15:00	3.18	3.59	0.11
Galat Rata - Rata			0.14

Pada tanggal 5 Agustus 2021 dilakukan pengujian sensor arus DC yang diuji setiap 20 menit mulai dari jam 12.00 – 15.00 WITA selama 1 hari, dari hasil dari perhitungan galat sensor arus DC didapatkan nilai rata –

rata galat pada sensor ini sebesar 0.14%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor arus DC bekerja dengan baik



Gambar 5. Grafik sensor arus DC 5 Agustus 2021

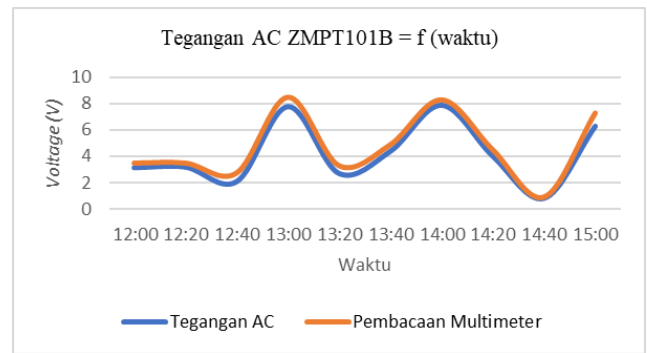
3.2. Pengujian Sensor Tegangan DC dan Arus DC

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kinerja dari kedua sensor yaitu sensor tegangan AC dan sensor arus AC ACS712. Pada pengujian sensor tegangan AC menggunakan sumber tegangan AC yang didapat dari panel turbin angin. Langkah – langkah dalam pengujian sensor tegangan AC dan sensor arus AC terdiri dari berbagai tahapan sebagai berikut. Pertama, menghubungkan keluaran tegangan 0 – 220 VAC pada catu daya inputan sensor tegangan AC pada sistem monitoring, selanjutnya melakukan Langkah pengambilan data pada alat monitoring yang diambil dalam rentang waktu 20 menit selama 7 hari. Hasil pengujian sensor tegangan AC dapat berupa tabel dan grafik,

Pada tanggal 29 Juli 2021 dilakukan pengujian sensor tegangan AC yang diuji setiap 20 menit mulai dari jam 12.00 – 15.00 WITA selama 1 hari, data galat relatif yang didapat dari pengamatan tabel 4.23 dapat dilakukan perhitungan galat relatif dengan menggunakan persamaan ¹²⁾. Dari hasil dari perhitungan galat sensor tegangan AC didapatkan nilai rata – rata galat sensor sebesar 0.21%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor tegangan AC bekerja dengan baik.

Tabel 3. Data sensor tegangan AC turbin angin 29 Juli 2021

Hari 3 waktu	Tegangan AC	Pembacaan Multimeter	Galat
12:00	3.11	3.5	0.11
12:20	3.16	3.5	0.97
12:40	2.05	2.75	0.25
13:00	7.76	8.5	0.08
13:20	2.67	3.3	0.19
13:40	4.36	4.9	0.11
14:00	7.86	8.3	0.05
14:20	3.99	4.5	0.11
14:40	0.79	0.92	0.14
15:00	6.26	7.3	0.14
Galat Rata - Rata			0.21

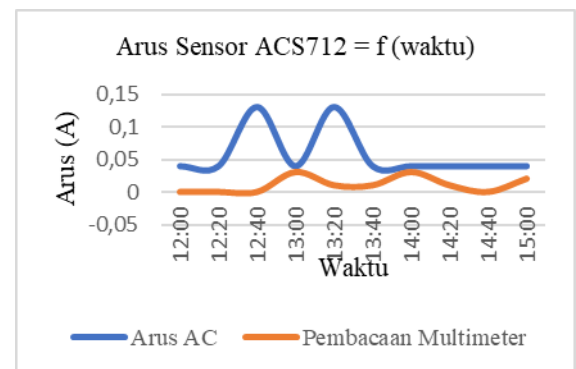


Gambar 6. Grafik sensor arus AC 29 Juli 2021

Pada tanggal 29 Juli 2021 dilakukan pengujian sensor arus AC yang diuji setiap 20 menit mulai dari jam 12.00 – 15.00 WITA selama 1 hari, dari hasil perhitungan galat sensor arus AC didapatkan nilai rata – rata galat sensor sebesar 13.76%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor arus AC bekerja dengan baik.

Tabel 4. Data sensor arus AC turbin angin 29 Juli 2021

Hari 4	Arus AC	Pembacaan Multimeter	Galat
12:00	0.04	0,01	3
12:20	0.04	0,01	3
12:40	0.13	0,01	12
13:00	0.04	0.03	0.3
13:20	0.13	0.01	12
13:40	0.04	0.01	3
14:00	0.04	0.03	0.3
14:20	0.04	0.01	3
14:40	0.04	0	100
15:00	0.04	0.02	1



Gambar 7. Grafik sensor arus AC turbin angin

Dari data pengukuran diatas maka dapat kita kita pembangkitan energi PLTS tegangan yang dibangkitkan berkisar 20 Volt dc dengan arus berkisar energi yang dibangkitkan berkisar minimum 0.07A dan maksimum 3,21 A, dan pembangkitan tegangan energi PLTB berkisar antara 0,7Volt dan maksimum 6,7 Volt dan arus yang dibangkitkan rata-rata 0,24 A.

4. Kesimpulan

Monitoring Sistem IoT yang dipergunakan untuk mengukur tegangan maupun arus, sebagai pengolahan data, serta NodeMCU ESP8266 sebagai konektivitas penerimaan data dari Arduino dan pengiriman data ke database MySQL webserver, setiap satu detik secara realtime, data hasil monitoring dari sensor tegangan DC, sensor tegangan AC, sensor arus DC dan sensor arus AC. Kemudian ditampilkan pada halaman website berupa data tabel dan data grafik yang dapat diakses menggunakan PC atau smartphone.

Data yang di monitor akan dapat diakses lewat web dengan Komunikasi antar mikrokontroller menggunakan serial komunikasi antara Arduino dan NodeMCU ESP8266, pengiriman serta penerimaan data dapat berjalan dengan baik, sensor yang digunakan memiliki rata – rata kesalahan pada pembacaan data pengukuran tegangan DC dan arus DC yang didapat dari pembangkit energi solar, tegangan AC dan arus AC yang di dapat dari turbin angin. Pada sensor tegangan DC galat rata – rata pengukuran sebesar 0.11% terkecil sampai dengan 0.59% terbesar dan bisa dikatakan sensor ini presisi dalam pembacaan pengukuran tegangan DC, sensor arus DC galat rata – rata pengukuran sebesar 0.071% terkecil sampai dengan 0.14 terbesar dan bisa dikatakan sensor ini presisi dalam pembacaan pengukuran arus DC. Pada sensor tegangan AC galat rata – rata pengukuran sebesar 0.21% terkecil sampai dengan 0.37% terbesar, kelemahan sensor ini juga tidak mampu membaca tegangan di bawah nilai pembacaan 0-220V dan bisa dikatakan sensor ini presisi dalam pembacaan pengukuran tegangan AC yang dilakukan, sensor arus AC galat rata – rata pengukuran sebesar 13.76% terkecil sampai dengan 94.7%

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Saputra, D. Notosudjono, and B. B. Rijadi, "Smart Grid Hybrid System (Fotovoltaik) PT PLN," *Berbasis Iot (Internetof Things)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [2] A. B. Rehiara, Y. Rumengan, "Perancangan Pengontrol Hibrid PLTS dan PLN Berbasis Arduino," *Procedia of Engineering and Life Science*, Vol. 1, No.1, Maret 2021
- [3] A. Noviyanto, D. Notosudjono, and D. Bangun Fidriansyah, "Perancangan Sistem Monitoring Prototipe Pembangkit Hybrid PLTS dengan PLTB Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal . Online Mhs. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018.
- [4] J. Lianda, D. Handarly, and A. Adam, "Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Jarak Jauh Berbasis Internet of Things," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 1, p. 79, 2019.
- [5] N. Arifin, R. S. Lubis, and M. Gapy, "Rancang Bangun Prototype Power Meter 1 Fasa," *Kitektro Jurnal. Online Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 13–22, 2019.
- [6] A. A. Mukhlisin, S. Suhanto, and L. S. Moonlight, "Rancang Bangun Kontrol Dan Monitoring Baterai Uninterruptible Power Supply (Ups) Menggunakan Energi Hybrid Dengan Konsep Internet Of Thing (IoT)," *Pros. SNITP*, pp. 1–7, 2019.
- [7] S. Saodah and R. Amalia, "Perancangan Pembangkit Hybrid Angin-Surya Di Desa Parangtritis Yogyakarta," *Jurnal Tek. Energi*, vol. 3, no. 2, 2013.
- [8] H. Harmini and T. Nurhayati, "Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Energi Solar Dan Angin," *Elektrika*, vol. 10, no. 2, p. 28, 2018.
- [9] H. Yuliansyah, "Uji Kinerja Pengiriman Data Secara Wireless Menggunakan Modul ESP8266 Berbasis Rest Architecture," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 68–77, 2016.

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

