

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>**METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal**

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483|



Artikel Penelitian

Desain Sistem Vakum untuk Mendinginkan Ruang Transformator*Benny Dwika Leonanda¹, Yul Hizhar¹, Firman Ridwan¹, Diki Zuhury¹*¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas, Padang, 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 12 Maret 2022

Revisi Akhir: 18 Maret 2022

Diterbitkan Online: 30 April 2022

KATA KUNCI

Transformer cooling chamber

Vacuum system design

Vacuum time

KORESPONDENSI

E-mail: benny@eng.unand.ac.id**A B S T R A C T**

An analysis has been carried out on designing a 60 MVA 150 kV transformer cooling chamber vacuum system. The transformer cooling chamber is vacuumed up to a pressure of 0.001 kPa. This is done to avoid the formation of gas bubbles, avoid condensation and sterilize the transformer chamber before filling the coolant. Therefore, we need a vacuum pump and other equipment called a vacuum system. The analysis of the vacuum system includes the work required by the system, vacuum time, and electrical energy. The design will use a rotary pump and a root pump by varying the number of pumps with two, three, and four pumps. The results of the analysis show that the work that must be done by the design is the largest and the vacuum time is the least in the design that uses 2 pumps with a value of 2860.38 KJ and 39.31 hours. While the effective electrical energy is found in a design that uses 3 pumps. It can be concluded that an effective design is found in the design using 3 pumps. From the tests carried out in the field for the design of 3 pumps there is a difference of 5.3 hours and 38.31 kWh compared to the theoretical test.

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan alat yang dapat menyalurkan energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik kerangkaan listrik yang lainnya berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik [1,2]. Transformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan listrik (menaikkan atau menurunkan tegangan listrik). Transformator dalam mengubah tegangan listrik menimbulkan panas sebagai akibat adanya beban berupa medan listrik dan beban termal dalam kumparan dan inti transformator. Panas yang timbul pada kumparan dan inti transformator pada saat dibebani tidak boleh berlebihan karena dapat merusak dan menurunkan tahanan isolasi kumparan [2]. Untuk mengatasi agar panas yang timbul tidak berlebihan

maka digunakan cairan pendingin transformator [3].

Penentuan temperatur merupakan faktor kunci untuk menjamin keamanan dan mencegah kegagalan transformator daya [4,5,6]. Panas yang berlebih, akan mengakibatkan ledakan dan kebakaran pada sistem [7,8], untuk mencegah hal ini diperlukan suatu sistem pengamanan yaitu sistem pendinginan dengan pendingin transformator [9].

Selain berfungsi sebagai sistem pendingin transformator, sistem ini juga berfungsi sebagai isolator [10,11,12], Peran atau fungsi cairan pendingin transformator sebagai media isolasi didalam transformator dapat menurun seiring banyaknya air yang mengotori cairan pendingin.

Banyaknya kadar air didalam cairan pendingin dipengaruhi oleh temperatur operasi transformator [14,15]. Saat temperatur operasi tinggi akan muncul kelembapan udara yang tinggi dari luar transformator. Dengan kata lain, air dapat timbul sebagai akibat dari proses oksidasi dan penetrasi udara luar selama transformator beroperasi. Oleh karena itu, dilakukan pengaturan ruang transformator sebelum pengisian cairan pendingin agar memiliki tekanan dibawah tekanan atmosfer. Tujuannya adalah agar tidak terjadinya gelembung udara atau gas-gas yang dapat menyebabkan korosi pada kawat kumparan saat transformator beroperasi, menghindari terjadinya pengembunan di ruang transformator saat transformator beroperasi, dan mensterilkan ruang transformator dari kotoran.

Untuk mendapatkan ruang vakum membutuhkan sebuah pompa vakum sebagai alat yang dapat mengeluarkan molekul-molekul gas dan uap air dari dalam sebuah ruangan tertutup dengan cara mengisap udara di dalam ruang transformator, sehingga tekanan udara di dalam ruang tersebut berada di bawah tekanan atmosfer. Oleh sebab itu, pada penelitian ini penulis akan mengupas kajian teoritis mengenai “Perancangan Sistem Pevakuman untuk Pendinginan Ruang Transformator 60 MVA 150 kV” dan membandingkannya dengan praktik yang berada di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengupayakan hasil yang maksimal di dalam sistem pevakuman ruang transformator secara teoritis untuk memperbaiki performa praktik pevakuman di praktik lapangan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan analisa terhadap jenis rotari dan pompa root yang terdapat di dalam praktik pevakuman pada proses pevakuuman ruang transformator yang terdapat untuk keperluan pengisian ulang cairan transformator di lapangan yang dilakukan sebuah perusahaan penyedia jasa untuk persiapan transformator di PT. CG Power System Indonesia.

2.1. Pengumpulan Data

Data-data yang diperoleh sebagai berikut:

Penelitian lapangan merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan pengamatan lapangan. Pengumpulan data ini dibutuhkan sebagai pendukung untuk studi dan perancangan sistem pevakuuman. Pengumpulan data di lakukan di PT. CG Power System Indonesia diperoleh melalui proses interview dengan karyawan perusahaan dan pengujian di lapangan. Pengumpulan data yang dilakukan berupa yaitu :

- a. Volume ruang transformator 60 MVA 150 kV yang akan divakum adalah 19.160 m³.
- b. Tekanan akhir yang akan dicapai adalah 0.1 mBar atau 0.001 Kpa.
- c. Skema rancangan yang digunakan oleh perusahaan yang mana dalam penelitian ini disebut rancangan II (menggunakan 3 pompa secara seri). Rancangan I dan III merupakan variasi yang dilakukan penulis secara teoritis sehingga data yang di ambil dilapangan hanya rancangan II.
- d. Data hasil pengujian menggunakan skema rancangan II (yang digunakan) perusahaan. Pemilihan Spesifikasi Pompa Vakum

Pemilihan spesifikasi pompa yang digunakan untuk pevakuuman ditentukan berdasarkan tekanan akhir yang ingin dicapai dalam proses pevakuuman. Dalam penelitian ini menggunakan pompa rotari dan pompa *root*. Dalam hal ini, pemilihan pompa rotari dan *root* telah didasarkan pompa vakum yang dipakai pada perusahaan PT. CG Power System Indonesia yang telah menggunakan ini sebelumnya.

- A. Data komperatif pompa Sogevac SV300B
 - *Pumping Speed* = 240 m³/jam
 - *Ultimate total pressure with gas ballast* = 0.7 mbar
 - Motor power* = 5.5 kW



Gambar 1. Pompa Sogevac Sv300b

B. Data komperatif *handbook* pompa Root Okta 2000 A

- *Nominal pumping speed* = 2065 m³/jam
- *Ultimate total pressure* = 0.01 mbar
- *Motor power* = 5.5 kW



Gambar 2. Pompa Root Okta 2000 A

C. Data komperatif *handbook* pompa Root Okta 4000

- *Nominal pumping speed* = 4325 m³/jam
- *Ultimate total pressure* = 0.001 mbar
- *Motor power* = 11 Kw



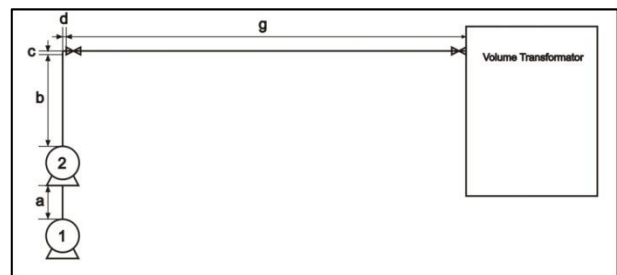
Gambar 3. Pompa Root Okta 4000

2.2. Perumusan Rancangan Sistem Pevakuman

Di dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem pevakuman untuk transformator 60 MVA 150 kV yang menghisap udara atau gas yang berada di ruang transformator. Yang dalam hal ini pilihan dalam menggunakan pompa vakum bertingkat 2, 3 dan 4. Dalam praktik banyak tahap yang dapat di variasikan merupakan dasar dalam pembuatan rancangan sistem pevakuman. Namun di dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan pertimbangan kepada praktik yang mungkin dilakukan dilapangan, sehubungan dengan banyak tahap pevakuman atau banyak pompa yang digunakan.

1. Rancangan I : Skema rancangan menggunakan 2 pompa

Skema sistem perancangan yang menggunakan 2 pompa disusun secara seri dapat dilihat pada Gambar 4.



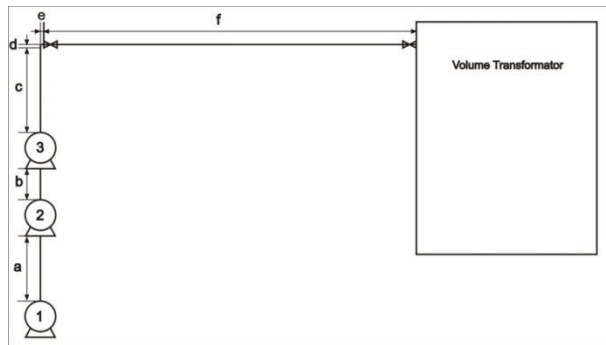
Gambar 4. Skema Rancangan I

Keterangan Gambar 4 :

- | | | |
|-------|------------------------|------------------|
| 1 | : pompa Sogevac SV300B | P_1 : 100 kPa |
| 2 | : pompa Root Okta 4000 | P_2 : 6.5 kPa |
| D_a | : 0.0508 m | D_b : 0.254 m |
| D_d | : 0.254 m | D_c : 0.254 m |
| L_c | : 0.015 m | L_a : 0.29 m |
| | | L_b : 0.7 m |
| | | D_g : 0.1016 m |
| | | L_g : 7 m |

2. Rancangan II : Skema rancangan menggunakan 3 buah pompa

Skema sistem perancangan yang menggunakan 3 pompa disusun secara seri dapat dilihat pada Gambar 5.



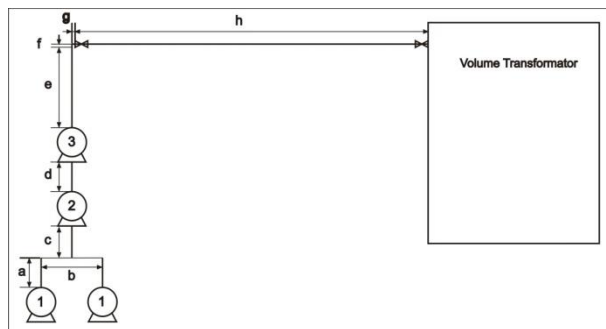
Gambar 5. Skema Rancangan Pempvakan II

Keterangan Gambar 5:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 : pompa Sogevac SV300B | $P_1 : 100 \text{ kPa}$ |
| 2 : pompa Root Okta 2000 A | $P_2 : 6.5 \text{ kPa}$ |
| 3 : pompa Root Okta 4000 | $P_3 : 0.65 \text{ kPa}$ |
| $D_a : 0.0508 \text{ m}$ | $D_b : 0.1016 \text{ m}$ |
| $D_c : 0.254 \text{ m}$ | $D_d : 0.254 \text{ m}$ |
| $L_c : 0.7 \text{ m}$ | $L_d : 0.015 \text{ m}$ |
| $D_f : 0.1016 \text{ m}$ | $L_e : 0.015 \text{ m}$ |
| | $L_f : 7 \text{ m}$ |

3. Rancangan III : Skema rancangan pempvakan dengan menggunakan 4 pompa

Skema sistem perancangan yang menggunakan 4 pompa dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Rancangan Pempvakan III

Keterangan Gambar 6 :

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 : pompa Sogevac SV300B | $P_1 : 100 \text{ kPa}$ |
| 2 : pompa Root Okta 2000 A | $P_2 : 6.5 \text{ kPa}$ |
| 3 : pompa Root Okta 4000 | $P_3 : 0.65 \text{ kPa}$ |
| $D_a : 0.0508 \text{ m}$ | $D_b : 0.0508 \text{ m}$ |
| $D_c : 0.1016 \text{ m}$ | $D_d : 0.1016 \text{ m}$ |
| $L_c : 0.15 \text{ m}$ | $L_d : 0.14 \text{ m}$ |
| $D_f : 0.254 \text{ m}$ | $D_g : 0.254 \text{ m}$ |
| $L_e : 0.7 \text{ m}$ | $L_f : 0.15 \text{ m}$ |
| $L_h : 7 \text{ m}$ | $L_g : 0.15 \text{ m}$ |

2.3. Perhitungan

Dalam penelitian ini diansumsikan bahwa kondisi yang terjadi dalam keadaan *steady state*. Dalam

pengolahan data dan perhitungan energi yang dibutuhkan diperlukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Asumsikan bahwa temperatur di dalam ruang transformator dalam keadaan temperatur kamar ($T_o = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ atau 300 K) dan pada saat adanya perubahan temperatur akibat penurunan tekanan, temperatur akan kembali ke temperatur kamar karena adanya pengaruh dari temperatur luar transformator.
2. Menentukan massa jenis udara di dalam ruang transformator. P adalah tekanan, V adalah Volume, n bilangan mol, R konstanta gas ideal, dan T adalah temperatur, dan m adalah massa, serta BA berat atom.

$$P \times V = n \times R \times T, \quad (1)$$

dan

$$m = n \times BA$$

3. Lakukan perhitungan untuk masing-masing tahap dan dengan menggunakan persamaan gas ideal, dapat ditentukan volume spesifik (v) [22].

$$P \times v = R \times T \quad (3)$$

4. Temperatur setelah terjadinya perubahan volume spesifik dapat ditentukan menggunakan proses politropik [22].

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}, \text{ dan} \quad (4)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (5)$$

5. Lakukan perhitungan total energi dalam dengan menggunakan tabel termodinamika (Tabel A-17) [23] atau dengan persamaan sebagai berikut [22].

$$u = C_v \times T \quad (6)$$

6. dan entalpi menggunakan persamaan sebagai berikut [22].

$$h = (P \times v) + u \quad (7)$$

7. Lakukan perhitungan kerja total yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [22].

$$W = m_{udara} (h_2 - h_1) \quad (8)$$

Dimana P menyatakan tekanan (kPa), V menyatakan volume (m^3), n menyatakan jumlah molekul, R menyatakan konstanta gas ideal, T menyatakan temperatur (K), m menyatakan massa udara (kg), M_r menyatakan massa molar gas, v menyatakan volume spesifik (m^3/kg), u menyatakan total energi dalam (kJ/kg), h menyatakan entalpi (kJ/kg) dan W menyatakan kerja (kJ).

2.4. Perhitungan Waktu Pempompaan

Kecepatan pemompaan dicapai dengan melalui konduktansi pipa (C) yang menghubungkan pompa dan ruang dengan volume didapatkan dari persamaan 9 [21]

$$t = \left(\frac{V}{S_p} \right) \left(1 + \frac{S_p}{C} \right) \ln \frac{P_i - P_u}{P - P_u} \quad (9)$$

Dimana t menyatakan waktu (s), P menyatakan tekanan pada waktu t (kPa), P_i menyatakan tekanan awal (kPa), S_p menyatakan kecepatan pemompaan (m^3/s) dan konduktansi (C)

2.5. Perhitungan Energi Listrik

Dalam setiap pemvakuman transformator selesai, tentu membutuhkan energi listrik dalam pengoperasiannya. Sehingga dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

Energi listrik = Daya pompa x waktu operasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

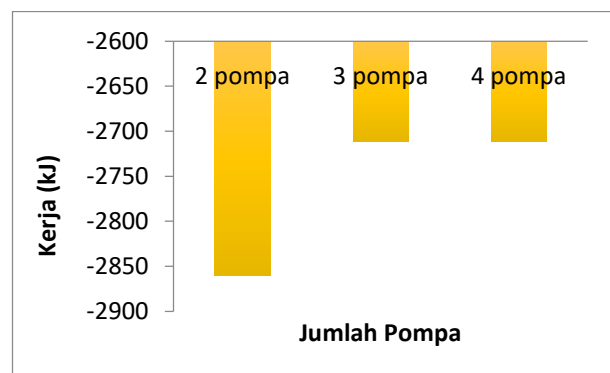
3.1. Analisis Kerja Setiap Rancangan

Dengan menggunakan pendekatan persamaan gas ideal, pada saat terjadinya penurunan tekanan, maka temperatur akan turun dan diiringi terjadi kenaikan volume spesifik. Namun akibat adanya pengaruh lingkungan maka akan terjadi kenaikan temperatur disistem sehingga perhitungan volume spesifik dilakukan setelah adanya suplai energi

(panas) dari lingkungan ke dalam sistem. Sedangkan volume spesifik merupakan besaran volume persatuan massa didalam proses yang sedang berlangsung memiliki harga yang tetap (tidak berubah). Sementara terjadi pengurangan massa didalam volume yang tetap akan menyebabkan volume spesifik mengalami kenaikan. Terjadinya kenaikan/ penambahan volume spesifik ini akan mempengaruhi kerja yang dihasilkan untuk proses pemvakuman. Kerja pada suatu sistem adalah energi yang dipindahkan sistem ke tempat lain sehingga menyebabkan perubahan pada sistem pemvakuman.

Hasil analisis teoritis terhadap sistem pemvakuman dengan berbagai variasi susunan pompa vakum dapat dilihat dari gambar-gambar hasil perhitungan berikut ini. Setiap gambar adalah hasil dari perhitungan secara teoritis terhadap proses pemvakuman berdasarkan skema masing-masing pemvakuman dan perbandingan dengan praktik lapangan (Gambar 11).

Gambar 7 menjelaskan bahwa kerja yang dihasilkan atau yang dibutuhkan untuk masing-masing rancangan hampir memiliki nilai yang sama.



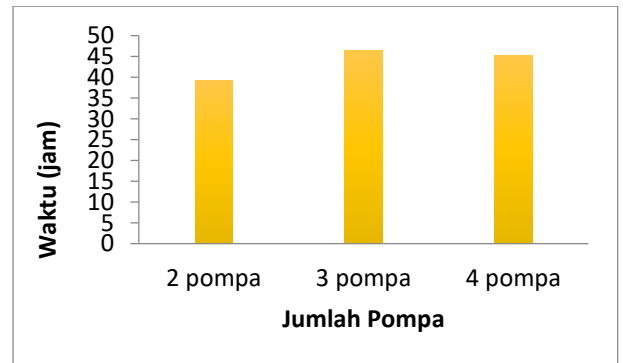
Gambar 7. Grafik Kerja yang Dikeluarkan

Kerja yang dibutuhkan paling rendah terjadi pada rancangan pemvakuman II dan III. Sedangkan rancangan pemvakuman I memiliki nilai kerja pemvakuman yang paling besar. Hal ini dikarenakan kerja dipengaruhi oleh massa yang terkandung didalam sistem. Semakin besar massa maka semakin besar juga kerja yang dihasilkan dan kerja tidak dipengaruhi oleh jumlah pompa

melainkan dipengaruhi oleh banyak tahapan yang akan dilakukan. Tanda negatif pada kerja yang dihasilkan menunjukkan arah kerja keluar dari sistem, dalam arti dibutuhkan kerja untuk proses pemvakuman yang berasal dari luar sistem (motor listrik). Tanda negatif menunjukkan terjadinya pengurangan energi secara kuantitatif penarikan massa udara dari sistem karena sistem yang dipakai adalah sistem vakum.

3.2. Analisis Waktu Pemvakuman dalam Pengujian Teoritis

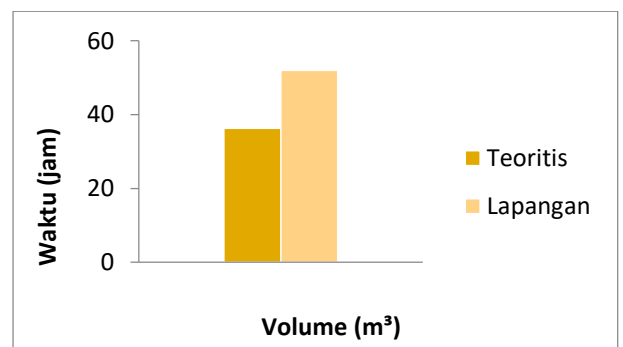
Waktu pemvakuman adalah total waktu yang dibutuhkan oleh masing-masing rancangan untuk mencapai tekanan 0.01 kPa (target teoritis) dengan penjumlahan atau lamanya waktu yang dibutuhkan masing-masing pompa. Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan ditampilkan pada Gambar 8 rancangan pemvakuman I yang menggunakan 2 pompa yang disusun secara seri memiliki waktu pemvakuman yang lebih pendek atau lebih efisien dibandingkan rancangan pemvakuman II dan III. Sedangkan rancangan pemvakuman yang memiliki waktu pemvakuman paling besar atau lebih lama adalah rancangan pemvakuman III. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor seperti adanya pengaruh dari laju massa pemompaan, tekanan awal dan akhir, banyak pompa dan susunan pompa yang digunakan. Semakin banyak pompa yang digunakan maka semakin panjang pipa (rugi aliran) penghubungnya. Semakin panjang pipa penghubung maka semakin besar nilai konduktansi (C) pada pipa. Besarnya nilai konduktansi pada pipa juga akan mempengaruhi waktu pemvakuman. Hal ini terkait dengan proses perpindahan panas dari sistem pemvakuman dengan kondisi udara sekitar. Semakin besar nilai konduktansi pada pipa maka semakin kecil/ sedikit waktu yang dibutuhkan jika laju pemompaannya konstan.



Gambar 8. Waktu Pemvakuman dalam Pengujian Teoritis

3.3. Analisis Waktu Pemvakuman dalam Pengujian Teoritis vs Pengujian Lapangan Menggunakan Rancangan II

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dalam pengujian teoritis untuk rancangan pemvakuman II didapatkan total waktu pemvakumannya sebesar 46.30 jam dengan tekanan akhir 0.01 kPa. Sedangkan pada pengujian dilapangan didapatkan total waktu pemvakumannya sebesar 52 jam dengan tekanan akhir yang dihasilkan 0.083 mBar atau 0.0083 kPa.



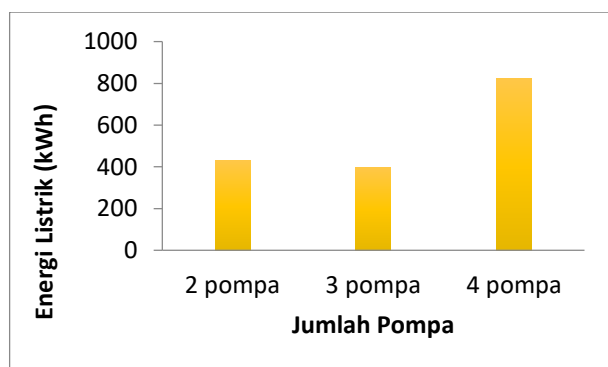
Gambar 9. Waktu Pemvakuman dalam Pengujian Teoritis terhadap Pengujian Lapangan

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar antara pengujian teoritis dan pengujian dilapangan. Selisih waktu antara pengujian teoritis dengan pengujian dilapangan adalah 5.30 jam (setengah hari kerja). Waktu pemvakuman yang lebih efisien didapatkan pada pengujian teoritis. Hal ini disebabkan karena pada pengujian teoritis beroperasi pada kondisi ideal. Kondisi ideal adalah kondisi tanpa adanya gangguan atau hambatan seperti kebocoran yang di

akibatkan pemasangan komponen yang kurang pas, permeasi, adanya pelepasan gas (*outgassing*) dan kualitas mekanik dari bahan yang digunakan sehingga kondisi ini bisa disebut dengan kondisi sempurna. Sedangkan pada kondisi pengujian dilapangan tidak mungkin berada dalam kondisi ideal.

3.4. Analisis Energi Listrik Setiap Rancangan

Energi listrik pada setiap rancangan merupakan hasil dari penjumlahan daya pompa dikali dengan waktu operasi setiap pompa.

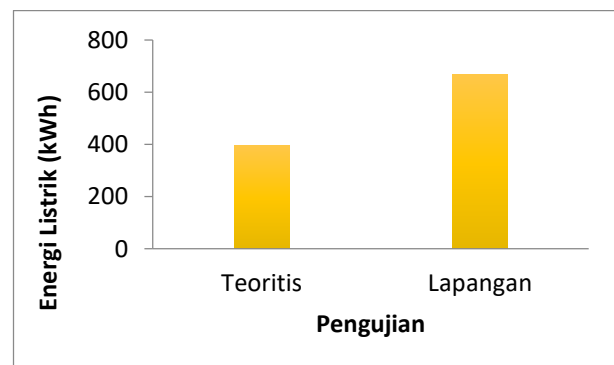


Gambar 10. Analisis Energi Listrik Setiap Rancangan

Gambar 10 menjelaskan bahwa energi listrik yang paling kecil berada pada saat rancangan pemvakuman II atau menggunakan 3 pompa yaitu 398.4401 kWh dan yang paling besar pada rancangan pemvakuman III atau menggunakan 4 pompa yaitu 823.77433 kWh. Energi listrik sendiri dipengaruhi oleh daya pompa, waktu operasi pompa dan banyak pompa yang digunakan. Semakin tinggi daya pompa dengan waktu operasi yang sama, maka energi listrik yang dihasilkan akan besar dan begitu juga dengan jumlah pompa. Tetapi pada rancangan I hanya menggunakan 2 pompa dan membutuhkan energi listrik yang lebih besar dibanding rancangan pemvakuman II atau menggunakan 2 pompa. Hal ini disebabkan oleh pada rancangan pemvakuman I waktu operasi untuk pompa yang dayanya paling besar memiliki waktu operasi yang besar. Sehingga menyebabkan terjadinya kenaikan energi listrik.

3.5. Analisis Energi Listrik dalam Pengujian Teoritis terhadap Praktik di Lapangan Menggunakan Rancangan Pemvakuman II

Berdasarkan perhitungan analisis energi listrik selama pengujian teoritis terhadap praktik di lapangan menggunakan rancangan pemvakuman II yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 11 yang menjelaskan bahwa pada perhitungan teoritis memiliki energi listrik yang lebih kecil dibandingkan pada pengujian dilapangan. Pada pengujian secara teoritis didapatkan energi listriknya 398.4401 kWh. Sedangkan pada praktik dilapangan didapatkan energi listriknya sebesar 668.99811 kWh. Hal ini dikarenakan pada praktik di lapangan banyak faktor yang mempengaruhi ketika melakukan pemvakuman seperti keterlambatan dalam pengisian oli.



Gambar 11. Analisis Energi Listrik dalam Pengujian Teoritis Vs Lapangan Menggunakan Rancangan II

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

1. Dalam memvakumkan ruang pendinginan transformator 60 MVA 150 kV dipakai pompa vakum berjenis rotari dan *roots*.
2. Dalam pengujian teoritis dalam sistem pemvakuman, rancangan II dinilai lebih efektif dibandingkan rancangan I dan III dilihat dari kerja dan energi listrik yang dihasilkan.
3. Dalam pengujian teoritis terhadap dilapangan, didapatkan perbedaan waktu pemvakuman

5.30 jam dan energi listrik terdapat perbedaan 38.3124 kWh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Andalas atas upaya membantu dan penyediaan dana penelitian ini sehingga dapat terlaksana, dan terhadap rekan-rekan sejawat yang telah banyak membantu penulis sehingga laporan ini bisa diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Franager, Adhitya, B. Anto, D.Y. Sukma, Design of Single-Phase and Three-Phase Transformer Using Computer Software. 2016.
- [2] M.T. Siddiqui, J.T. Pattiwar, A.P. Paranjape, A.J. Keche, Influence of Various Temperatures on the Drying Time of 132 KV Transformer Insulations in Vapour Phase Drying Process, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), ISSN: 2249 – 8958, Volume-9 Issue-3, February 2020 DOI: 10.35940/ijeat.C6073.029320.
- [3] H. Sabari and H. Shardi. Functions of Insulating Oil in Large Capacity Transformers (ISSN: 1979-911X). 2014.
- [4] W. Tao, W. Qianggang, W. Peng, Three-dimensional thermal modelling of transformers in transformer room for spatial and temporal failure analysis, <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.1862>, 24 May 2018
- [5] A.T. Marina, I.A. Eleftherios, G. K. Antonios and T.S. Athanassios, Power transformer thermal analysis by using an advanced coupled 3D heat transfer and fluid flow FEM model, International Journal of Thermal Sciences, Volume 53, March 2012, Pages 188-201
- [6] Y. Sun, G. Xu, N. Li, K. Li, Y. Liang, H. Zhong, L. Zhang and P. Liu, Hotspot Temperature Prediction of Dry-Type Transformers Based on Particle Filter Optimization with Support Vector Regression, *Symmetry* 2021, 13(8), 1320;
- [7] A. Garcia, G. E. Paredes, I. Hernandez, A Thermal Study of an Encapsulated Electrical Transformer, *Computer and Electrical Engineering*, Elsevier, 2001. PII: S0045-7906(01)00004-0
- [8] V. Shiravand, J. Faiz, M. Hamed S. Mehdi and M. Kermani, Prediction of transformer fault in cooling system using combining advanced thermal model and thermography. RAccepted: 2 February 2021 IET Generation, Transmission & Distribution DOI: 10.1049/gtd2.12149, wileyonlinelibrary.com/iet-gtd 1
- [9] J.O. Wuwung, Effect of Loading on Temperature Rise in Oil-immersed Power Transformer Windings. 2010, [https://ejournal.unsrat.ac.id > article > viewFile PDF](https://ejournal.unsrat.ac.id/article/viewFilePDF)
- [10] M. Florkowski, J. Furgal, M. Kuniewski, P. Pajak, Overvoltage Impact on Internal Insulation Systems of Transformers in Electrical Networks with Vacuum Circuit Breakers,
- [11] *Energies*, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6380/>
- [12] The use of a transformer design ensuring the appropriate electrical strength of transformer insulation systems, resulting from the expected exposures, is of fundamental importance for meeting the above requirement.
- [13] N. Sergey, Litvinov1, D. Vladimir, Lebedev1, N. Nikolay, Smirnov1, V. Vladimir, Tyutikov, B. Ilkhom and Makhsumov, Physical simulation of heat exchange between 6(10) kV voltage instrument transformer and its environment with natural convection and insolation, *MATEC Web Conf. Volume 194*, 2018, Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment (HMTTSC-2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819401035>, 21 August 2018.
- [14] C. Yigit, A. Aydin, H. Yasar, FatihIsik and T. Engin, Numerical Investigation of Vapor Phase Drying Process for Drying of Transformer's

- Insulation Paper, Thermal Science, 2020, Vol.24, No. 3B, pp. 2125-2135
- [15] A. Bangar, R. Sharma, H.P. Tripathi and A. Bhanpurkar, Comparative Analysis of Moisture Removing Processes from Transformer which are Used to Increase its Efficiency, Global Journal of Researches in Engineering, Mechanical and Mechanics Engineering, Volume 12 Issue 5 Version 1.0, Online ISSN: 2249-4596 Print ISSN:0975-5861
- [16] C. Sawant, M. Nalawade and N. Choudhary, Experimental Investigation of Vapour Phase Drying System, International Conference on Advances in Thermal Systems, Materials and Design Engineering (ATSMDE2017), December 21, 2017.
- [17] C. Sawant, M. Nalawade and N. Choudhary, Experimental Investigation of Vapour Phase Drying System, International conference on Advances in Thermal Systems, Materials and Design Engineering (ATSMDE2017), <https://ssrn.com/abstract=3101274>.
- [18] Suprpto and S. Widodo. Introduction to Vacuum Technology National Nuclear Energy Agency (BATAN). 2017.
- [19] Suprpto, Darsono, S.P. Djoko and Djasmin, Electron Beam Machine Vacuum System Analysis 500 keV/10 mA. 2000.
- [20] R. Mado, F. Sapar and J. Daud. Energy Saving Vacuum Pump Design (ISSN: 2614-3445) Politeknik Negeri Kupang.
- [21] Darsono, Suprpto and Djasiman, Electron Beam Machine Vacuum System Design Basics (MBE). Vol. 1, No. 1, ISSN: 1411-1349. PPNY-BATAN. 1999.
- [22] O. Singh, Applied Thermodynamics 3th Edition. India.2009.
- [23] Y.A. Cengel and A.B. Michael, Thermodynamics An Engineering Approach 7th Edition. Singapura: McGraw-Hill. 2011.