

PENGARUH FREKUENSI TERHADAP EFFISIENSI DAN REGULASI TEGANGAN TRANSFORMATOR

Lucianus Handri Gunanto¹, Rizky Aprilyanto Susilo^{2*}, Subir³, Arbain⁴, Qomaruddin⁵,
Yohanes Suban Peli⁶, Rocky Yefrenes Dillak⁷

^{1,2,3,4,5} Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Cipto Mangun Kusumo, Sungai Keledang, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda,
Kalimantan Timur 75242

^{6,7} Politeknik Negeri Kupang

Lasiana, Kelapa Lima, Kupang City, East Nusa Tenggara 85258

*E-mail: apriliantorizky86@gmail.com

Abstrak

Transformator didesain untuk bekerja pada frekuensi kerja tertentu. Penentuan frekuensi kerja transformator berkaitan dengan penentuan tegangan kerja, jumlah lilitan pada belitan transformator dan ukuran inti. Efisiensi dan regulasi tegangan merupakan watak transformator yang perlu diketahui dalam kaitannya dengan penerapan transformator dalam sistem tenaga listrik.

Penelitian dilakukan dengan mengoperasikan transformator 50 Hz pada beberapa frekuensi tertentu yaitu 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz, 70 Hz, 80 Hz, 90 Hz dan 100 Hz. Sumber listrik yang frekuensinya dapat diatur diperoleh dengan mengatur putaran generator sinkron. Pengaturan putaran dilakukan dengan mengatur putaran motor arus searah sebagai penggerak generator. Tegangan, arus dan faktor daya disisi primer dan sekunder transformator diukur dan digunakan untuk menghitung efisiensi dan regulasi tegangan. Efisiensi dan regulasi tegangan untuk masing-masing frekuensi diperbandingkan.

Data hasil penelitian memperlihatkan bahwa frekuensi mempengaruhi efisiensi transformator. Efisiensi transformator menjadi lebih rendah apabila transformator dioperasikan bukan pada frekuensi kerjanya. Pengaruh frekuensi terhadap efisiensi transformator terlihat jelas apabila transformator berbeban ringan. Regulasi tegangan transformator dipengaruhi frekuensi. Regulasi tegangan transformator menjadi lebih besar apabila transformator dioperasikan bukan pada frekuensi kerjanya.

Kata kunci: Transformator, Frekuensi, Lilitan, Tegangan,

PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen yang penting dalam sistem tenaga listrik. Dengan adanya transformator, dimungkinkan untuk mengubah arus tegangan sesuai kebutuhan. Efisiensi dan regulasi tegangan transformator sangat penting untuk diketahui dalam kaitannya dengan perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik.

Pada umumnya transformator didesain untuk bekerja pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Untuk keperluan khusus frekuensi kerja transformator dimungkinkan di bawah 50 Hz atau di atas 60 Hz. Penentuan frekuensi kerja transformator berkaitan dengan penentuan ukuran inti, tegangan kerja dan jumlah lilitan pada belitan transformator. Dengan adanya beberapa frekuensi kerja maka timbul pertanyaan apakah memungkinkan untuk mengoperasikan transformator bukan pada frekuensi kerjanya ? dan apakah pengaruh terhadap efisiensi dan regulasi tegangan.

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini diawali dengan hipotesis bahwa gejala magnetisasi transformator berkaitan dengan frekuensi kerja transformator. Berubahnya frekuensi kerja transformator akan mempengaruhi proses magnetisasi inti sehingga rugi-rugi daya di inti berubah besarnya. Perubahan besar rugi-rugi daya di inti akan menyebabkan perubahan besar efisiensi.

Perubahan frekuensi kerja juga menyebabkan perubahan besar reaktansi akibat adanya kebocoran fluks magnet. Perubahan besar reaktansi menyebabkan regulasi perubahan jatuh tegangan di dalam transformator sehingga regulasi tegangan berubah.

Setelah memaparkan hipotesis diatas, kemudian di butuhkan bahan dan peralatan berikut ini.

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Transformator 1 fase, 220/20 V, 1A, 50 Hz

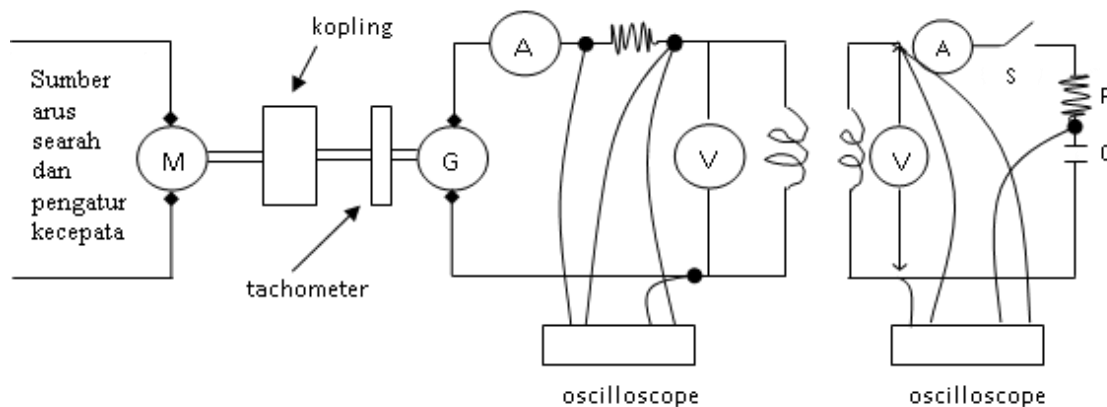
2. Transformator 1 fase, 220/20 V, 1A, 50 Hz
3. Transformator 1 fase, 220/110 V, 500A, 50 Hz
4. Trafo variac 1 fase, 220 V, 500 VA, 50 Hz
5. Tahanan keramik 10 Ω , 20 W
6. Kapasitor 1 μ F, 220 V
7. Induktor
8. Kopling motor
9. Kabel

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Motor listrik arus searah jenis 731 91 Leybold-didactic GMBH 220V, 2,2A, 0,3kW, 2000rpm, kumparan medan :

2. 220V, 0,45A.
2. Generator serempak jenis 732 36 Leybold-didactic GMBH 220/380V, 1,4/0,8A, 0,3kW, 1500rpm, 50Hz, sistem peneralaan : 200V, 1,5A.
3. Oscilloscope jenis HM 205-3.
4. Multimeter digital.
5. Tachometer

Dari peralatan dan bahan diatas kemudian dilaksanakan prosedur percobaan sebagai berikut. Bahan dan alat penelitian dirangkai menjadi untai penelitian seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian percobaan transformator

Urutan langkah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bahan dan alat penelitian dibangkitirangkai menjadi untai penelitian.
2. Kecepatan motor penggerak diatur sehingga diperoleh frekuensi tegangan listrik yang dibangkitkan generator sesuai kebutuhan (30Hz – 100Hz). Besar tegangan keluaran generator sehingga diatur dengan mengatur sistem peneralaan generator sehingga sesuai dengan arus tegangan masukan transformator.
3. Pada saat transformator tanpa beban, tegangan, arus dan beda fase diukur dan dicatat.
4. Besar arus ke beban diatur dengan mengatur besar R,L atau C. Besar arus beban yang dibutuhkan adalah $\frac{1}{4}$ arus beban penuh, $\frac{1}{2}$ arus beban penuh, $\frac{3}{4}$ arus beban penuh, $\frac{5}{4}$ arus beban penuh.
5. Saklar ditutup, Besar tegangan masukan transformator dijaga tetap dengan

mengatur sistem peneralaan generator. Tegangan, arus dan beda fase tegangan- arus diukur dan dicatat.

6. Saklar S dibuka, langkah 4 dan 5 diulangi untuk besar beban yang berbeda.
7. Langkah 2 sampai dengan 6 diulangi untuk besar frekuensi yang berbeda

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan percobaan, pengukuran dan perhitungan, diperoleh hasil pada tabel 1-8 untuk perhitungan efisiensi. Kemudian untuk hasil perhitungan Regulasi tegangan terdapat dalam tabel 9

Besar rugi-rugi mempengaruhi efisiensi transformator seperti tampak pada persamaan 1.1. Rugi-rugi terdiri atas rugi-rugi inti P_0 dan rugi-rugi tembaga P_{cu} . Rugi-rugi inti P_0 terdiri atas rugi-rugi histerisis P_h dan rugi-rugi arus eddy P_{ed} . Besar rugi-rugi inti dapat diketahui dengan mengukur daya input transformator pada saat

Tabel 1. f = 30 Hz

V ₁ Volt	I ₁ Ampere	cos φ ₁	V ₂ Volt	I ₂ Ampere	cos φ ₁	P ₁ Watt	P ₂ Watt	Eff %
100	0.095	0.4	18.0	0.000	1	3.64	0	0
100	0.100	0.9	15.0	0.285	1	9.24	4.275	46
100	0.110	1.0	14.0	0.400	1	10.79	5.6	52
100	0.120	1.0	12.5	0.500	1	11.92	6.25	52
100	0.130	1.0	11.0	0.600	1	13	6.6	51
100	0.160	1.0	9.5	0.710	1	16	6.745	42
100	0.170	1.0	8.0	0.795	1	17	6.36	37
100	0.195	1.0	6.0	0.920	1	19.5	5.52	28
100	0.215	1.0	4.0	1.000	1	21.5	4	19
100	0.230	1.0	2.0	1.100	1	23	2.2	10

Tabel 2. f = 40 Hz

V ₁ Volt	I ₁ Ampere	cos φ ₁	V ₂ Volt	I ₂ Ampere	cos φ ₁	P ₁ Watt	P ₂ Watt	Eff %
100	0.030	0.6	20.0	0.000	1	1.90	0	0
100	0.070	0.9	16.5	0.295	1	6.45	4.868	75
100	0.090	1.0	15.0	0.405	1	8.83	6.075	69
100	0.110	1.0	14.0	0.495	1	10.86	6.93	64
100	0.130	1.0	12.0	0.620	1	12.91	7.44	58
100	0.150	1.0	11.0	0.700	1	15	7.7	51
100	0.175	1.0	9.0	0.810	1	17.5	7.29	42
100	0.200	1.0	7.5	0.910	1	20	6.825	34
100	0.220	1.0	5.5	1.015	1	22	5.583	25
100	0.240	1.0	3.5	1.110	1	24	3.885	16

Tabel 3. f = 50 Hz

V ₁ Volt	I ₁ Ampere	cos φ ₁	V ₂ Volt	I ₂ Ampere	cos φ ₁	P ₁ Watt	P ₂ Watt	Eff %
100	0.010	0.9	20.0	0.000	1	0.92	0	0
100	0.065	1.0	16.0	0.300	1	6.38	4.8	75
100	0.085	1.0	15.0	0.410	1	8.5	6.15	72
100	0.105	1.0	14.0	0.505	1	10.5	7.07	67
100	0.135	1.0	12.5	0.615	1	13.5	7.688	57
100	0.155	1.0	11.0	0.725	1	15.5	7.975	51
100	0.175	1.0	9.0	0.815	1	17.5	7.335	42
100	0.195	1.0	7.0	0.935	1	19.5	6.545	34
100	0.225	1.0	5.5	1.015	1	22.5	5.583	25
100	0.235	1.0	3.5	1.115	1	23.5	3.903	17

Tabel 4. f = 60 Hz

V ₁ Volt	I ₁ Ampere	cos φ ₁	V ₂ Volt	I ₂ Ampere	cos φ ₁	P ₁ Watt	P ₂ Watt	Eff %
100	0.005	0.9	20.0	0.000	1	0.462		0
100	0.070	1.0	16.0	0.310	1	7	4.96	71
100	0.090	1.0	15.0	0.405	1	9	6.075	68
100	0.100	1.0	14.0	0.505	1	10	7.07	71
100	0.130	1.0	12.5	0.615	1	13	7.688	59
100	0.155	1.0	11.0	0.710	1	15.5	7.81	50
100	0.170	1.0	10.0	0.795	1	17	7.95	47
100	0.195	1.0	8.0	0.915	1	19.5	7.32	38
100	0.220	1.0	6.0	1.000	1	22	6	27
100	0.240	1.0	4.0	1.110	1	24	4.44	19

Tabel 5. f = 70 Hz

V ₁ Volt	I ₁ Ampere	cos φ ₁	V ₂ Volt	I ₂ Ampere	cos φ ₁	P ₁ Watt	P ₂ Watt	Eff %
100	0.000	1.0	20.0	0.000	1	0	0	
100	0.060	1.0	16.0	0.310	1	6	4.96	83

100	0.085	1.0	15.0	0.400	1	8.5	6	71
100	0.110	1.0	14.0	0.535	1	11	7.49	68
100	0.130	1.0	12.5	0.600	1	13	7.5	58
100	0.150	1.0	11.0	0.710	1	15	7.81	52
100	0.175	1.0	9.0	0.830	1	17.5	7.47	43
100	0.200	1.0	7.0	0.935	1	20	6.545	33
100	0.215	1.0	5.0	1.030	1	21.5	5.15	24
100	0.245	1.0	3.0	1.125	1	24.5	3.375	14

Tabel 6. $f = 80$ Hz

V_1 Volt	I_1 Ampere	$\cos \phi_1$	V_2 Volt	I_2 Ampere	$\cos \phi_1$	P_1 Watt	P_2 Watt	Eff %
100	0.000	1.0	20.0	0.000	1	0	0	
100	0.060	1.0	16.0	0.290	1	6	4.64	77
100	0.090	1.0	15.0	0.420	1	9	6.3	70
100	0.105	1.0	14.0	0.520	1	10.5	7.28	69
100	0.130	1.0	12.0	0.640	1	13	7.68	59
100	0.150	1.0	11.0	0.720	1	15	7.92	53
100	0.170	1.0	9.0	0.820	1	17	7.38	43
100	0.200	1.0	7.0	0.930	1	20	6.51	33
100	0.215	1.0	5.0	1.020	1	21.5	5.1	24
100	0.245	1.0	3.0	1.135	1	24.5	3.405	14

Tabel 7. $f = 90$ Hz

V_1 Volt	I_1 Ampere	$\cos \phi_1$	V_2 Volt	I_2 Ampere	$\cos \phi_1$	P_1 Watt	P_2 Watt	Eff %
100	0.000	1.0	20.0	0.000	1	0	0	
100	0.020	1.0	16.0	0.290	1	6	4.64	77
100	0.040	1.0	15.0	0.420	1	9	6.3	70
100	0.065	1.0	14.0	0.520	1	10.5	7.28	69
100	0.090	1.0	12.0	0.640	1	13	7.68	59
100	0.110	1.0	11.0	0.720	1	15	7.92	53
100	0.125	1.0	9.0	0.820	1	17	7.38	43
100	0.160	1.0	7.0	0.930	1	20	6.51	33
100	0.180	1.0	5.0	1.020	1	21.5	5.1	24
100	0.195	1.0	3.0	1.135	1	24.5	3.405	14
100	0.220	1.0	5.0	1.020	1	22	5.1	23
100	0.245	1.0	3.0	1.140	1	24.5	3.4	14

Tabel 8. $f = 100$ Hz

V_1 Volt	I_1 Ampere	$\cos \phi_1$	V_2 Volt	I_2 Ampere	$\cos \phi_1$	P_1 Watt	P_2 Watt	Eff %
100	0.000	1.0	20.0	0.000	1	0	0.0	
100	0.020	1.0	19.0	0.095	1	2	1.8	90
100	0.040	1.0	18.0	0.195	1	4	3.5	88
100	0.060	1.0	16.0	0.305	1	6	4.9	81
100	0.090	1.0	15.0	0.420	1	9	6.3	70
100	0.115	1.0	14.0	0.535	1	11.5	7.5	65
100	0.130	1.0	12.0	0.620	1	13	7.4	57
100	0.155	1.0	11.0	0.740	1	15.5	8.1	53
100	0.170	1.0	10.0	0.800	1	17	8.0	47
100	0.195	1.0	8.0	0.920	1	19.5	7.4	38
100	0.210	1.0	5.0	1.000	1	21	5.0	24
100	0.255	1.0	2.5	1.185	1	25.5	3.0	12

Keterangan :

- V_1 = Tegangan primer transformator
- I_1 = Tegangan sekunder transformator
- $\cos \phi_1$ = Faktor daya primer transformator
- P_1 = Daya primer transformator
- Indeks 2 menyatakan sisi sekunder transformator.

tanpa beban. Pada saat tanpa beban rugi-rugi tembaga pada belitan primer dianggap kecil

dibanding rugi-rugi inti sehingga daya input transformator dianggap dengan rugi-rugi inti.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Regulasi Tegangan

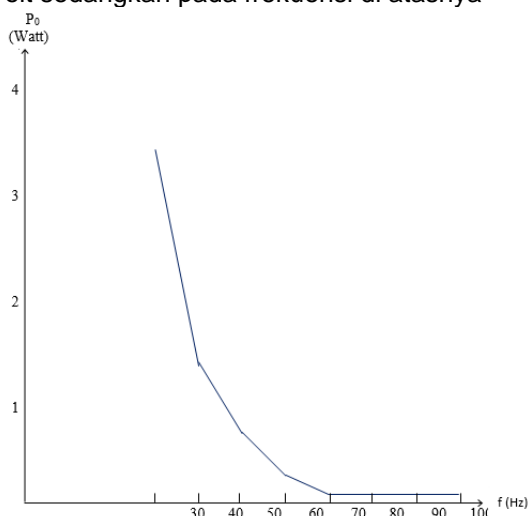
Frek Hz	Tegangan Tanpa Beban Volt	Tegangan Beban Penuh Volt	Regulasi Tegangan %
30	18	4	77.8
40	20	5.8	71.0
50	20	5.8	71.0
60	20	6	70.0
70	20	5.6	72.0
80	20	5.4	73.0
90	20	5.4	73.0
100	20	5	75.0

Gambar 2 memperlihatkan data hasil penelitian yang menggambarkan rugi-rugi inti. Terlihat bahwa rugi-rugi inti semakin besar jika frekuensi semakin kecil.

Pengaruh rugi-rugi inti terhadap efisiensi terlihat jelas pada pembebanan ringan (rugi-rugi tembaga kecil). Hal itu terlihat jelas pada gambar 3. Efisiensi untuk frekuensi 30 Hz, 50 Hz dan 100 Hz pada setengah beban penuh adalah berturut-turut 52,2%, 67,6% dan 66,6% sedangkan pada beban penuh adalah berturut-turut 18,6%, 26,4% dan 23,8%. Pada beban penuh, efisiensi tidak begitu terpengaruh oleh besar frekuensi dikarenakan pada beban penuh rugi-rugi tembaga jauh lebih besar dibanding rugi-rugi inti.

Rugi-rugi tembaga tergantung pada besar arus dan nilai tahanan belitan. Oleh karena itu efisiensi pada beban penuh tidak jauh berbeda untuk berbagai nilai frekuensi seperti terlihat pada gambar 3 dan gambar 4.

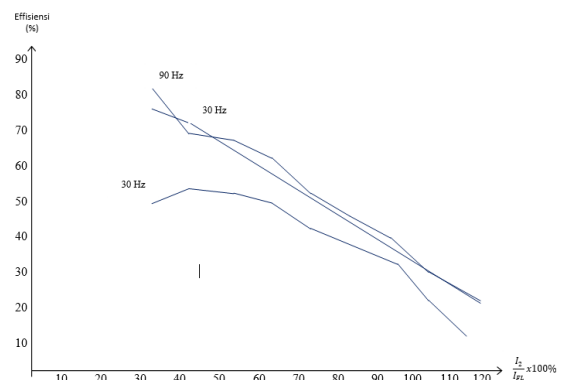
Tegangan belitan sekunder transformator pada saat tanpa beban dan berbeban terlihat pada gambar 5. Pada frekuensi 30 Hz tegangan sekunder hanya 28 Volt sedangkan pada frekuensi di atasnya



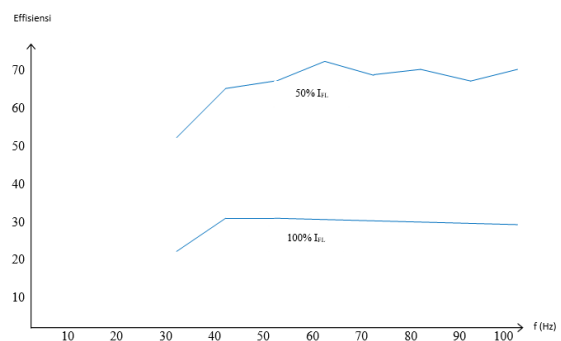
Gambar 2. Rugi-Rugi Inti Transformator Pada Beberapa Frekuensi

Tegangan belitan sekunder transformator pada saat tanpa beban dan berbeban terlihat pada gambar 5. Pada frekuensi 30 Hz tegangan sekunder hanya 28 Volt sedangkan pada frekuensi di atasnya tegangan sekunder sebesar 20 Volt. Secara teoritis sesuai dengan persamaan yang ada, tegangan sekunder akan konstan jika tegangan primer juga konstan tetapi data hasil penelitian menunjukkan hal yang berbeda. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah bahwa persamaan yang ada berlaku untuk gelombang sinus murni sedangkan pada penelitian ini gelombang yang terjadi tidak sinus murni tetapi agak cacat.

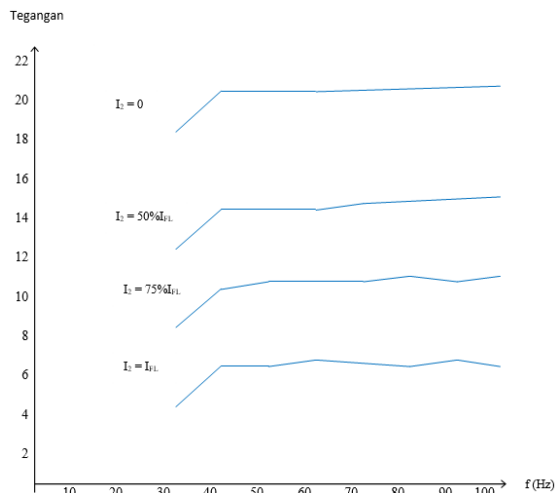
Besar tegangan sekunder pada keadaan berbeban dipengaruhi oleh jatuh tegangan akibat adanya impedans belitan. Semakin besar beban atau arus beban maka jatuh tegangan juga semakin besar. Besar impedans akan semakin besar dengan bertambah besarnya frekuensi. Keadaan seperti tersebut tampak pada gambar 5 dan 6 yakni semakin besar beban dan semakin besar frekuensi tegangan sekunder mempunyai kecenderungan mengecil



Gambar 3. Efisiensi Transformator Pada Beberapa Frekuensi

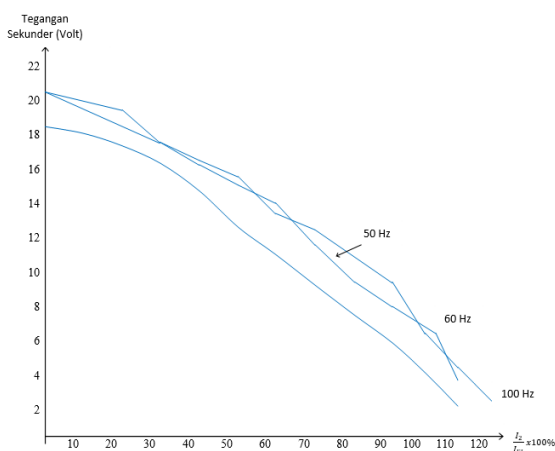


Gambar 4. Efisiensi Transformator Pada Setengah Beban Penuh Dan Beban Penuh

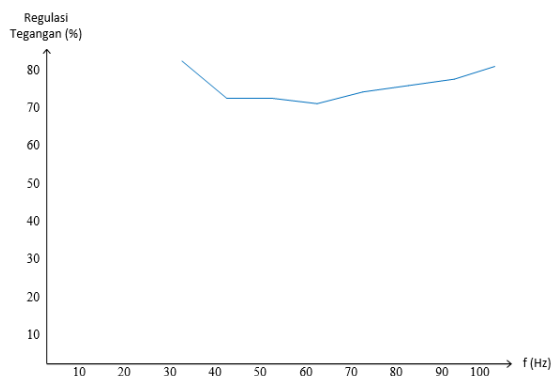


Gambar 5. Tegangan Sekunder Transformator Tanpa Beban Dan Berbeban

Regulasi tegangan transformator untuk beberapa frekuensi terlihat pada gambar 7. Regulasi tegangan pada frekuensi 50 Hz (frekuensi kerja transformator) sebesar 71,0 % sedangkan pada frekuensi 30 Hz dan 100 Hz berturut-turut adalah 77,8 % dan 75 %. Terlihat adanya kecenderungan membesarnya regulasi tegangan apabila transformator dioperasikan buka pada frekuensi kerjanya



Gambar 6. Tegangan Sekunder Transformator Berbeban



Gambar 7. Regulasi Tegangan Transformator

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Efisiensi transformator dipengaruhi oleh besar frekuensi. Pengaruh frekuensi terlihat jelas pada transformator dalam keadaan berbeban ringan (kurang dari 50%) sedangkan pada transformator dalam keadaan berbeban penuh, pengaruh frekuensi tidak terlihat jelas.
2. Frekuensi berpengaruh terhadap regulasi tegangan. Transformator yang dioperasikan bukan pada frekuensi kerjanya mempunyai regulasi tegangan yang lebih besar.

Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas penelitian ini, dapat disarankan :

1. Alat ukur daya listrik (Wattmeter) yang ada hanya mampu digunakan untuk sistem tenaga listrik berfrekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Sebaiknya dibuat alat ukur daya listrik elektronika yang mampu bekerja pada jangkauan frekuensi yang lebih lebar.
2. Pada penelitian ini, catu daya listrik yang frekuensinya dapat diubah menggunakan motor dan generator. Sebaiknya dibuat catu daya listrik elektronik yang berdaya besar dan frekuensinya dapat diubah secara lebih halus dan lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitzgerald, A.E, Kineley, C.Jr, Umans, S.D, 1984, Mesin-Mesin Listrik, Terbitan Ke-4, pp. 47, Erlangga, Jakarta.
- [2] Feinberg, R, 1979, Modern Power Transformer Practise, Terbitan ke-1, pp. 36, The Macmillan Press Ltd., Hongkong.
- [3] McPherson, G., 1981, An Introduction To Electrical Machines And Transformer, Terbitan ke-1, pp. 204, John WileyAnd Sons, New York.
- [4] Nasar, Syed A., L.E. Unnewehr, 1979, Electromechanics And Electrical Machines, Terbitan ke-1, pp. 87, John Wiley And Sons, New York.