

Analisis Arus Transien Transformator Setelah Penyambungan Beban Gedung Serbaguna PT "X"

AHMAD ZAKKY RI'AYATULLAH¹, WALUYO²

1. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung
 2. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung
- Email : Ahmad_Zakky_R@yahoo.com

ABSTRAK

Peristiwa alih hubung pada suatu rangkaian listrik menyebabkan adanya sentakan tegangan dan arus yang disebut dengan arus transien. Saat terjadi transien komponen-komponen mengalami tekanan yang sangat besar berupa tegangan dan arus terutama pada transformator yang mensuplai beban, hal ini menyebabkan penurunan waktu kerja transformator tersebut. Dengan membandingkan hasil data berupa kurva gelombang arus transien beberapa tipe beban dengan SPLN 64 : 1985 pasal enam mengenai pengaman trafo distribusi terhadap arus transien inrush dan beban peralihan. Berdasarkan hasil simulasi beberapa tipe beban, arus masuk awal maksimum terjadi pada beban lampu tabung sebesar 1531,81Ampere dalam selang waktu 0,01 detik. Selama 2,066 detik, tipe beban lampu pijar mendekati batas ketahanan transformator sebesar 867,41 Ampere setara dengan 2,17 kali lipat dari arus nominal dari batasan sebesar 3 kali lipat dalam waktu 10 detik. Sesuai dengan standar (SPLN 64:1985), transformator masih berada dalam kondisi batas aman.

Kata kunci : Arus Transien, Ketahanan Transformator, Jenis Beban.

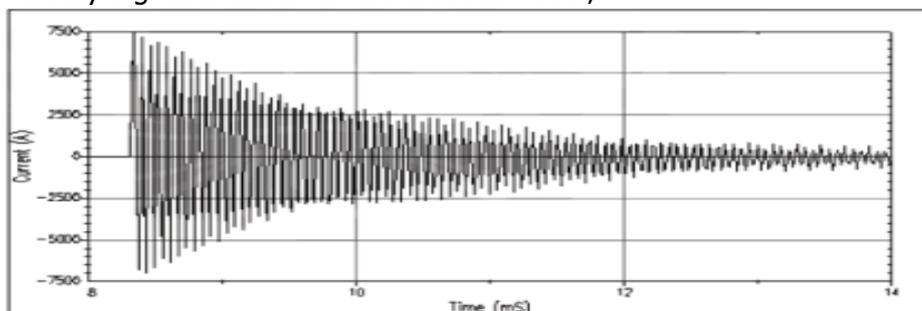
ABSTRACT

The surge of voltage and current due to switching operations in electrical circuit is called the transient current. Components are run into high pressure of voltage and current, especially in transformer that supplying the load. It can lead to the reduction of transformer working time. The curve of transient current wave from any type of loads will be compared with SPLN 64 : 1985 sixth article about transformer distribution safety from transient inrush current and load switching. Based on simulation result in any load types. Maximum inrush current occur in tube lamp load equal to 1531,81 Ampere within 0,01 second. For 2,066 second, maximum incandescent lamp load current is close to the transformer withstand of 867,41 Ampere. It's equal to 2,17 fold from nominal current of 3 fold within 10 seconds about the transformer withstand. According to SPLN (64 : 1985), transformer reserve supply side is still safe.

Keywords : Transient Current, Transformer withstand, load type.

1. PENDAHULUAN

Transien osilasi adalah suatu respon lonjakan sesaat dari karakteristik arus atau tegangan tanpa mengubah frekuensi dari kondisi tunak dengan bentuk gelombang yang memiliki polaritas bolak-balik. Transien osilasi ini dapat terjadi karena adanya gangguan atau karena operasi pensaklaran. Bentuk gelombang transien osilasi sesuai dengan persamaan eksponensial dengan fungsi sinusoidal. Transien osilasi ditinjau dari respon maksimum I_{max} atau V_{max} , waktu yang dibutuhkan untuk keadaan tunak,



Gambar 1. Gelombang Transien Osilasi

Penyebab fenomena transien adalah adanya perubahan parameter rangkaian, yang biasanya terjadi akibat pensaklaran, rangkaian terbuka, atau hubung singkat, perubahan dalam operasi sumber. Perubahan arus, tegangan, dan yang lain selama transien tidak berlangsung seketika dan membutuhkan waktu, walaupun ini terjadi secara cepat. Untuk mengubah energi magnetik memerlukan perubahan arus melalui induktansi. Oleh karena itu, arus dalam rangkaian induktif tidak dapat berubah seketika. Perubahan arus dalam induktor membawa tegangan induksi dari nilai $L \frac{di}{dt}$.

- a. Dilihat dari karakteristik waktu-arusnya maka pengamanan terhadap trafo distribusi dibatasi oleh dua garis kerja. (SPLN, 1985)
 - i. Garis kerja pertama (garis batas ketahanan pelebur) yang merupakan batas dimana pelebur primer tidak boleh bekerja, ditentukan oleh beban lebih yang masih dan harus dapat ditahan trafo tersebut. Beban atau arus lebih yang dimaksud adalah:
 1. Beban lebih (beban maksimum)
 2. Arus beban peralihan (*cold load pick-up*);
 3. Hubung singkat JTR;
 4. Arus masuk awal (*inrush*) trafo;
 5. Arus asutan motor.
 - ii. Garis kerja kedua (garis batas ketahanan trafo) yang merupakan batas ketahanan trafo dimana pelebur harus sudah bekerja/memutus. Gangguan yang dapat melebihi batas tersebut adalah: hubung singkat pada trafo pada sisi primer maupun sekunder.
- b. Garis batas ketahanan pelebur bagi trafo distribusi umum ditentukan oleh titik-titik berikut: (SPLN, 1985)
 1. arus masuk awal (*inrush*) trafo
 - 25 x I_n selama 0,01 detik
 - 12 x I_n selama 0,1 detik
 2. arus beban peralihan
 - 6 x I_n selama 1 detik
 - 3 x I_n selama 10 detik

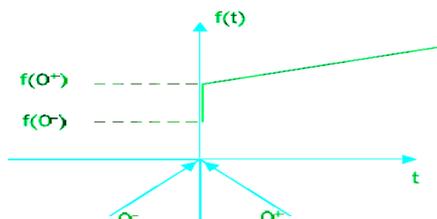
Pada hubungan bintang – bintang, Tegangan fasa-fasa pimer sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30° , tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30° . (Zuhal, 1991)

Analisis arus transien transformator setelah penyambungan beban gedung serbaguna pt biofarma bandung menggunakan simulasi etap

Perbandingan tegangan fasa - fasa primer dan sekunder adalah :

$$\frac{VLP}{VLS} = \frac{VFP\sqrt{3}}{VFS\sqrt{3}} = a; \quad \frac{ILP}{ILS} = \frac{IFP}{IFS} = \frac{1}{a}$$

Dalam analisa transien, merupakan hal umum untuk mengasumsikan bahwa pensaklaran akan mengambil waktu pada $t = 0$ (atau $t = t_0$) dan terjadi secara seketika, misalnya dalam waktu nol, artinya pensaklaran yang ideal. Selanjutnya, dapat mengidentifikasi dua waktu seketika tepat sebelum pensaklaran dengan simbol 0^- , misalnya $t = 0^-$, dan waktu seketika tepat setelah pensaklaran dengan simbol 0^+ (atau hanya 0) seperti ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Kurva Pensaklaran

2. METODOLOGI PENELITIAN

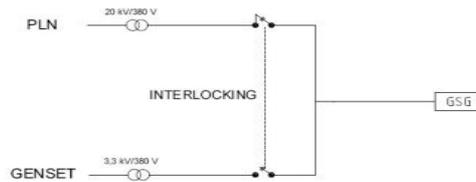
Metode penelitian dapat dibuat dengan suatu diagram alur kerja berupa *flowchart*. Dengan diagram alur ini langkah – langkah penelitian dapat dikerjakan secara sistematis.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Penyaluran daya yang di suplai untuk beban gedung serbaguna memiliki dua sumber tegangan. Selain dari suplai utama PLN, gedung serbaguna juga dilengkapi dengan sumber tegangan cadangan dari sebuah pembangkit tegangan berupa *generator set*. Sistem penyaluran daya bekerja secara *interlocking*. Saat sumber utama mensuplai beban maka sumber cadangan tidak mensuplai beban, begitu juga sebaliknya.

Pemodelan sistem di gambarkan dalam diagram satu garis seperti berikut:

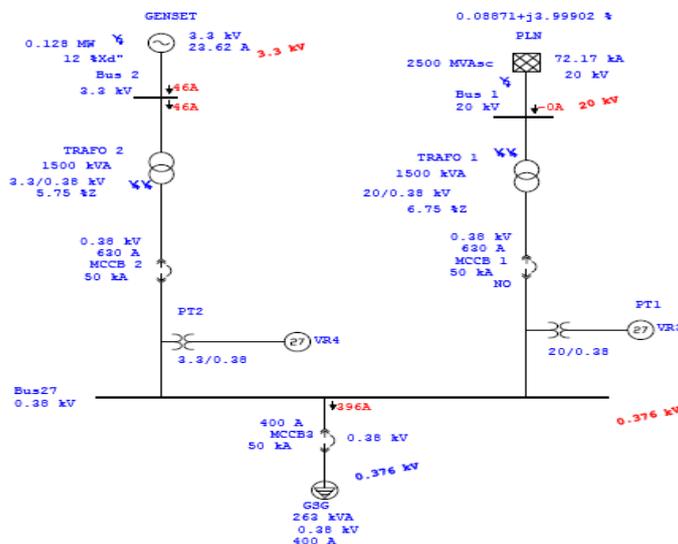


Gambar 4. Diagram Satu Garis Sistem Penyaluran Daya Gedung Serbaguna

Untuk menganalisis suatu sistem instalasi listrik, diperlukan parameter – parameter alat yang terkait didalamnya. Sesuai dengan diagram satu garis, maka diperlukan data lapangan dari sumber tegangan menuju beban. Berikut adalah data lapangan yang diperoleh :

- a. Kapasitas beban GSG PT BioFarma Bandung sebesar 400 Ampere setiap phasanya.
- b. Spesifikasi Transformator tiga fasa dari sisi *supply* cadangan menggunakan tiga unit transformator satu fasa untuk menurunkan tegangan generator dari 3,3 kV menjadi 0,38 kV, yaitu :
 1. Kapasitas : 1500 kVA
 2. Tegangan sisi tinggi : 3,3 kV
 3. Tegangan sisi rendah : 0.38 kV
 4. Frekuensi : 50 Hz
 5. Impedansi : $4,356 + j3,267 \Omega$
 6. Menggunakan hubung bintang - bintang.
- c. Spesifikasi dari *generator set* untuk *supply* daya cadangan, yaitu :
 1. Tipe : Synchronous Generator
 2. Kapasitas : 150 kVA
 3. Tegangan nominal : 3.3 kV
 4. Power factor : 0,8
 5. Frekuensi : 50 Hz
 6. Kecepatan putar : 1500 rpm
 7. Impedansi : $58,1 + j43,56 \Omega$

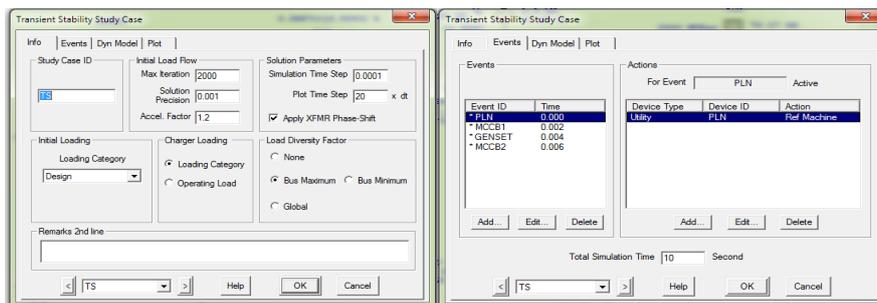
Dari diagram satu garis dan parameter alat yang telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah dengan memodelkan sistem tersebut kedalam suatu program simulasi ETAP power station 4.0.0.



Gambar 5. Model Diagram Satu Garis Menggunakan Program ETAP

Analisis arus transien transformator setelah penyambungan beban gedung serbaguna pt biofarma bandung menggunakan simulasi etap

Simulasi transien ETAP dijalankan kasus pada *transient stability analysis* dengan *study case* dan *events* sebagai berikut :



Gambar 6. Study Case dan Events Program ETAP

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan simulasi kurva gelombang arus transien selama 10 detik di sekunder transformator dengan tipe beban sebagai berikut :

1. Beban motor kapasitor
2. Beban elektronik
3. Beban lampu tabung
4. Beban lampu pijar

Dari berbagai tipe beban tersebut maka diperoleh kurva gelombang arus transien masing – masing beban. Batas waktu 10 detik disesuaikan dengan standarisasi PLN. Dalam menganalisa hasil data yang telah diperoleh dari proses simulasi, metode yang dipakai adalah dengan menggunakan metode perbandingan dimana membandingkan hasil data simulasi berupa kurva gelombang arus transien maksimum setelah penyambungan beban dengan standar PLN 54 : 1985 pasal enam mengenai pengaman trafo distribusi terhadap arus transien masuk awal (*inrush*) dan beban peralihan.

3. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran beban motor kapasitor, diperoleh hasil data rata-rata sebagai berikut :

Tabel 1. Pengukuran Beban Motor Kapasitor

No.	Parameter	Pengukuran 1			Pengukuran 2			Pengukuran 3			Pengukuran 4			Pengukuran 5			Average
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	
1	Arus rms (Ampere)	1,69	-	-	1,75	-	-	1,65	-	-	1,68	-	-	1,72	-	-	1,698
2	THDv (%)	2,4	-	-	2,2	-	-	2,1	-	-	1,4	-	-	1,6	-	-	1,04
3	THDi (%)	16,7	-	-	2,2	-	-	2,1	-	-	1,5	-	-	1,9	-	-	4,88
4	Frekuensi (F)	49,94	-	-	50,05	-	-	50,13	-	-	49,98	-	-	50,07	-	-	50,034
5	KWh	0,86	-	-	1,468	-	-	1,553	-	-	1,711	-	-	1,798	-	-	1,4832
6	KVAH	1,107	-	-	1,831	-	-	1,94	-	-	2,124	-	-	2,236	-	-	1,8456
7	KVARH	0,13	-	-	0,5	-	-	0,539	-	-	0,575	-	-	0,616	-	-	0,472
8	PF/ cos φ	0,209	-	-	0,208	-	-	0,206	-	-	0,204	-	-	0,206	-	-	0,207
9	DPF	0,333	-	-	0,203	-	-	0,21	-	-	0,201	-	-	0,207	-	-	0,2308

Keterangan :

THDv : Total harmonik *distortion* tegangan (%)

THDi : Total harmonik *distortion* arus (%)

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

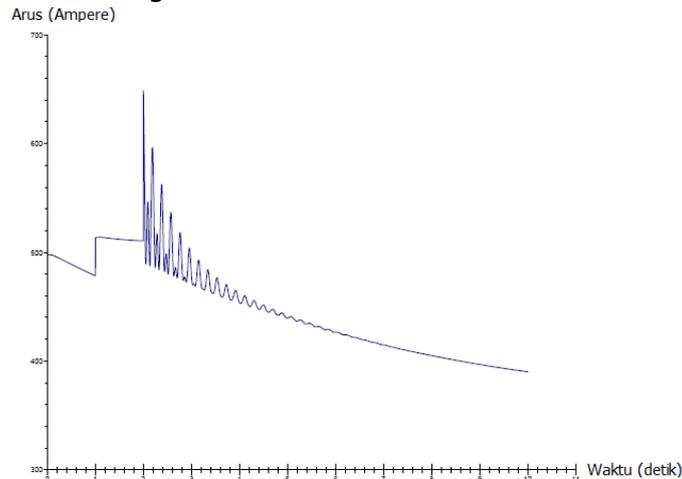
$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

Kwh : Kilo watt jam (joule)

PF : *power factor*
 DPF : *Displacement power factor*

$$: \frac{I_{s1}}{I_s} \times \cos\varphi$$

Ditampilkan dengan kurva sebagai berikut :



Gambar 7. Kurva Gelombang Arus saat Penyambungan Beban Motor Kapasitor

Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 72,8 Ampere saat 0,002 detik selama 0,01 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $72,8 \times \sqrt{2} \times \alpha = 895,7$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,2 \times I_n$ selama 0,01 detik. Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 68,9 Ampere saat 0,012 detik selama 0,1 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $68,9 \times \sqrt{2} \times \alpha = 847,72$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,12 \times I_n$ selama 0,1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 66,9 Ampere saat 0,192 detik selama 1 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $66,9 \times \sqrt{2} \times \alpha = 823,11$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,05 \times I_n$ selama 1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 55,7 Ampere saat 1,154 detik selama 10 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $55,7 \times \sqrt{2} \times \alpha = 685,31$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $1,71 \times I_n$ selama 10 detik. Motor kapasitor merupakan tipe beban induktif karena terdiri dari kumparan kawat. Beban ini mengakibatkan pergeseran fasa pada arusnya berupa *lagging*. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan pada kumparan berupa medan magnetis yang menjadikan arus tertinggal terhadap tegangan. Tipe beban motor kapasitor merupakan tipe beban dengan arus *inrush* terkecil. Hal ini dikarenakan factor daya pada tipe beban ini paling kecil dibandingkan dengan tipe beban lainnya. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan reaktif.

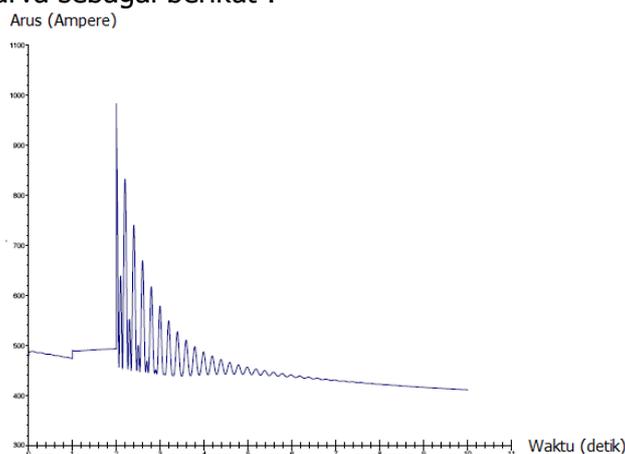
Analisis arus transien transformator setelah penyambungan beban gedung serbaguna pt biofarma bandung menggunakan simulasi etap

Berdasarkan hasil pengukuran beban elektronik, diperoleh hasil data rata-rata sebagai berikut :

Tabel 2. Pengukuran Beban Lampu Elektronik

No.	Parameter	Pengukuran 1			Pengukuran 2			Pengukuran 3			Pengukuran 4			Pengukuran 5			Average
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	
1	Arus rms (Ampere)	-	-	0,3	-	-	0,3	-	-	0,31	-	-	0,3	-	-	0,3	0,3
2	THDv (%)	-	-	1,8	-	-	1,9	-	-	1,8	-	-	1,5	-	-	1,7	1,74
3	THDi (%)	-	-	177,9	-	-	179,7	-	-	180,8	-	-	182,6	-	-	178,1	179,82
4	Frekuensi (F)	-	-	49,92	-	-	59,08	-	-	49,97	-	-	49,84	-	-	49,77	49,916
5	KWh	-	-	1,066	-	-	1,393	-	-	1,57	-	-	1,692	-	-	1,797	1,5036
6	KVAH	-	-	1,359	-	-	1,717	-	-	1,966	-	-	2,092	-	-	2,226	1,872
7	KVARH	-	-	0,384	-	-	0,468	-	-	0,574	-	-	0,563	-	-	0,606	0,519
8	PF/ cos q	-	-	0,477	-	-	0,471	-	-	0,468	-	-	0,471	-	-	0,754	0,4732
9	DPF	-	-	0,987	-	-	0,988	-	-	0,985	-	-	0,986	-	-	0,987	0,9866

Ditampilkan dengan kurva sebagai berikut :



Gambar 8. Kurva Gelombang Arus saat Penyambungan Beban Elektronik

Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 113,2 Ampere saat 0,002 detik selama 0,01 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $113,2 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1392,77$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$.

Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $3,48 \times I_n$ selama 0,01 detik. Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 102,5 Ampere saat 0,012 detik selama 0,1 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $102,5 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1261,12$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985)

tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $3,15 \times I_n$ selama 0,1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 95,8 Ampere saat 0,2 detik selama 1 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $95,8 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1178,69$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan

dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,95 \times I_n$ selama 1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 66,1 Ampere saat 1,002 detik selama 10 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $66,1 \times \sqrt{2} \times \alpha = 813,3$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985)

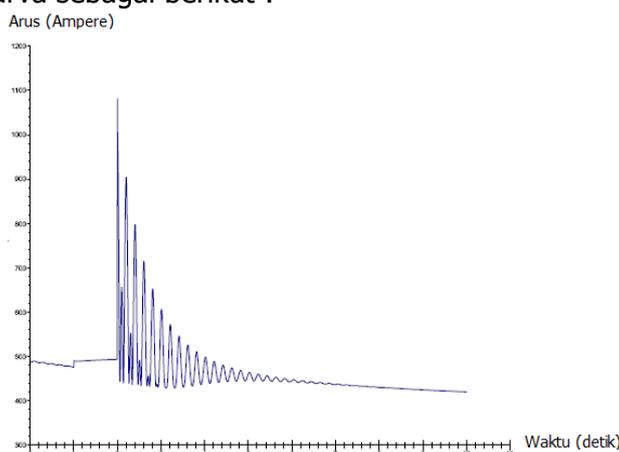
tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,03 \times I_n$ selama 10 detik.

Berdasarkan hasil pengukuran beban lampu tabung, diperoleh hasil data rata-rata sebagai berikut :

Tabel 3. Pengukuran Beban Lampu Tabung

No.	Parameter	Pengukuran 1			Pengukuran 2			Pengukuran 3			Pengukuran 4			Pengukuran 5			Average
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	
1	Arus rms (Ampere)	2,1	-	-	0,11	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,502
2	THDv (%)	2,4	-	-	2,5	-	-	2,1	-	-	1,5	-	-	2,2	-	-	2,14
3	THDi (%)	135,	-	-	135,4	-	-	133,8	-	-	135,7	-	-	132,6	-	-	134,6
4	Frekuensi (F)	50,12	-	-	49,99	-	-	50,04	-	-	49,76	-	-	49,9	-	-	49,962
5	KWh	0,908	-	-	1,146	-	-	1,57	-	-	1,713	-	-	1,807	-	-	1,4288
6	KVAH	1,179	-	-	1,793	-	-	1,964	-	-	2,13	-	-	2,249	-	-	1,863
7	KVARH	0,356	-	-	0,492	-	-	0,574	-	-	0,583	-	-	0,62	-	-	0,525
8	PF/ cos q	0,573	-	-	0,554	-	-	0,56	-	-	0,552	-	-	0,571	-	-	0,562
9	DPF	0,1952	-	-	0,949	-	-	0,948	-	-	0,946	-	-	0,949	-	-	0,79744

Ditampilkan dengan kurva sebagai berikut :



Gambar 9. Kurva Gelombang Arus saat Penyambungan Beban Lampu Tabung

Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 124,5 Ampere saat 0,002 detik selama 0,01 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $124,5 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1531,81$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$.

Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $3,8 \times I_n$ selama 0,01 detik. Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 112,5 Ampere saat 0,012 detik selama 0,1 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $112,5 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1384,16$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985)

tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $3,46 \times I_n$ selama 0,1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 104,2 Ampere saat 0,204 detik selama 1 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $104,2 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1282,04$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika

dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $3,21 \times I_n$ selama 1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 69,8 Ampere saat 1,016 detik selama 10 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $69,8 \times \sqrt{2} \times \alpha = 858,8$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN

64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,15 \times I_n$ selama 10 detik.

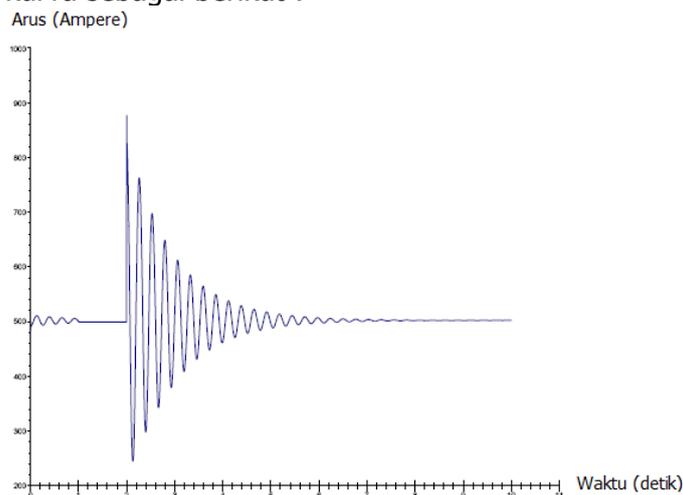
Analisis arus transien transformator setelah penyambungan beban gedung serbaguna pt biofarma bandung menggunakan simulasi etap

Berdasarkan hasil pengukuran beban lampu pijar, diperoleh hasil data rata-rata sebagai berikut :

Tabel 4. Pengukuran Beban Lampu Pijar

No.	Parameter	Pengukuran 1			Pengukuran 2			Pengukuran 3			Pengukuran 4			Pengukuran 5			Average		
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
1	Arus rms (Ampere)	0,75	1,22	0,97	0,76	1,22	375	0,74	1,22	0,96	0,75	1,24	0,97	0,75	1,23	0,96	0,75	1,23	0,97
2	THDv (%)	0,9	1	1	0,9	1,1	1,1	1	1,2	0,9	1	1	0,8	1,1	1,2	0,9	0,98	1,1	0,94
3	THDi (%)	1,7	3,6	1,7	1,6	2,9	1,8	2	2,4	1,6	1,9	2,2	1,8	2,1	2,5	1,9	1,86	2,72	1,76
4	Frekuensi (F)	49,88			49,66			50,01			50,33			50			49,976		
5	KWh	1,211			1,253			1,629			1,673			1,915			1,5362		
6	KVAH	1,555			1,59			2,041			2,055			2,355			1,9192		
7	KVARH	0,428			0,428			0,563			0,563			0,649			0,5262		
8	PF cos φ	1	0,999	1	1	0,999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	DFF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ditampilkan dengan kurva sebagai berikut :

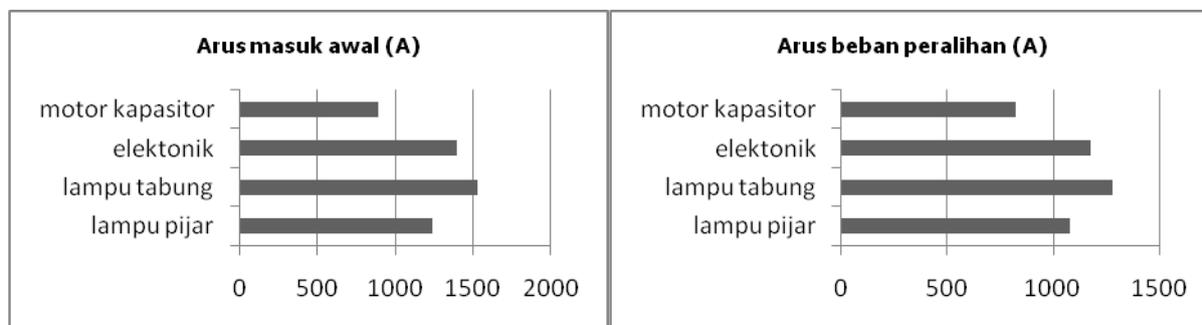


Gambar 10. Kurva Gelombang Arus saat Penyambungan Beban Lampu Pijar

Bentuk gelombang arus yang dihasilkan berbeda dengan tipe beban lainnya, hal ini disebabkan karena beban lampu pijar merupakan beban resistif murni sehingga gelombang arusnya satu fasa dengan gelombang tegangannya. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja. Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 100,9 Ampere saat 0,002 detik selama 0,01 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $100,9 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1241,44$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $3,1 \times I_n$ selama 0,01 detik. Arus masuk awal pada sisi primer transformator maksimum sebesar 94 Ampere saat 0,012 detik selama 0,1 detik. Besar arus masuk awal maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $94 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1156,54$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64:1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal, maka arus masuk awal transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,89 \times I_n$ selama 0,1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 87,8 Ampere saat 0,266 detik selama 1 detik. Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $87,8 \times \sqrt{2} \times \alpha = 1080,26$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64, 1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan

3,21 x In selama 1 detik. Arus beban peralihan pada sisi primer transformator maksimum sebesar 70,5 Ampere saat 2,066 detik selama 10 detik.

Besar arus beban peralihan maksimum pada sisi sekunder transformator menjadi : $70,5 \times \sqrt{2} \times \alpha = 867,41$ Ampere dengan $\alpha = \frac{V_p}{V_s} = \frac{3300}{380} = 8,68$. Jika dibandingkan dengan standarisasi (SPLN 64,1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus beban peralihan, maka arus beban peralihan transformator pada sisi sekunder sama dengan $2,17 \times I_n$ selama 10 detik. Dari berbagai tipe beban yang ada, besar arus masuk awal maksimum tiap beban dapat digambarkan dengan kurva sebagai berikut :



Gambar 11. Kurva Arus Masuk Awal dan Peralihan Beban Maksimum

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Arus transien pada tipe beban resistif seperti lampu pijar cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan beban induktif. Hal ini disebabkan karena sifat arus yang melalui resistor se-fasa dengan tegangan masukan. Sehingga bentuk arus resistor akan mengikuti bentuk tegangannya.
2. Tipe beban induktif seperti motor kapasitor, lampu tabung, dan alat elektronik. Arus transien akan lebih besar karena sifat arus yang melewati induktor akan mendahului tegangannya (*leading*).
3. Besar faktor daya pada beban akan mempengaruhi bentuk kurva gelombang arus transien.
4. Besar faktor daya pada beban induktif sebanding dengan besar arus saat terjadi transien.
5. Berdasarkan hasil simulasi beberapa tipe beban, arus masuk awal dan beban peralihan maksimum terjadi pada beban lampu tabung sebesar 1531,81Ampere dalam selang waktu 0,01 detik dan 1282,04 Ampere dalam selang waktu 10 detik.
6. Sesuai dengan standar (SPLN 64,1985) tentang garis batas ketahanan trafo terhadap arus masuk awal (*inrush*) dan arus beban peralihan, transformator masih berada dalam kondisi batas aman.

DAFTAR RUJUKAN

- Greenwood, A. (1923). *Electrical Transient in Power System*. second edition. New York: Braun-Brumfield. Inc.
- Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. International Edition EPRI. New York: McGraw-Hill.
- Tim PLN. (1985). Pengamanan Trafo Distribusi SPLN 64 – 6. Bandung : PLN.
- Zuhal. (1991). *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB.