

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dalam pemanfaatan tenaga listrik di zaman modern ini banyak mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan teknologi terutama dalam pemakaian bahan semi konduktor atau peralatan elektronika seperti televisi, komputer/laptop, *airconditioner*(AC), printer, lampu hemat energi (LHE), dimmer dan peralatan elektronika daya yang lainnya. Peralatan tersebut merupakan beban nonlinier yang dapat menyebabkan munculnya arus / tegangan dengan besar frekuensinya melebihi besarnya frekuensi fundamental atau kelipatannya. Frekuensi 50/60 Hz disebut dengan frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut frekuensi harmonik atau harmonisa. Perkembangan dari teknologi tersebut tentu saja merupakan hal yang bernilai positif dari segi efisiensi waktu dan biaya.

Akan tetapi perkembangan tersebut menimbulkan dampak merugikan yaitu munculnya harmonisa yang dapat mempengaruhi sistem tenaga listrik. Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban nonlinier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier dalam arti arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Beban non linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran tidak sebanding dengan tegangan dalam tiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi) Sisi negatif yang timbul dari perkembangan teknologi bahan semikonduktor tersebut disebabkan oleh jenis beban non linier yang menyebabkan timbulnya harmonisa sehingga gelombang arus dan tegangan menjadi cacat dan tidak sinusoidal lagi akibat interaksi antara bentuk gelombang sinus sistem dengan gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi *fundamental*-nya yaitu untuk di Indonesia frekuensi *fundamental*-nya 50 Hz. [Hardi Surya, 2006].

Harmonisa dapat berpengaruh pada peralatan listrik seperti pada bahan konduktor yang mengakibatkan panas karena rugi-rugi kawat penghantar. Peralatan listrik yang juga dapat dipengaruhi oleh harmonisa yaitu *Miniature Circuit Breaker* (MCB), dimana MCB

sebagai peralatan proteksi yang berfungsi untuk pemutus sekaligus sebagai pengaman dari arus hubung singkat dan beban lebih.

Akibat dari efek harmonisa menyebabkan MCB tidak beroperasi secara benar, hal ini tentunya membahayakan bagi instalasi maupun pada peralatan listrik karena kegagalan suatu MCB untuk melakukan suatu proses tripping atau pemutusan daya listrik. Hal ini disebabkan karena MCB tidak dapat merespon secara benar akibat adanya harmonisa pada sistem tenaga listrik. [Syafrudin Masri, 2004].

Atas dasar hal tersebut, maka dalam skripsi ini penulis mengambil judul: “Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Kinerja *Miniature Circuit Breaker* (MCB)”, Adapun beban non linier yang digunakan untuk pengujian MCB tersebut adalah lampu pijar yang dipasang paralel dan diatur tegangannya oleh dimmer untuk mendapatkan variasi nilai distorsi harmonik, untuk beban linier menggunakan lampu pijar yang dipasang paralel.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan pada latar belakang, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa waktu trip MCB ketika diberi beban nonlinier dan ketika diberi beban linier.
2. Berapa arus fundamental dan arus total harmonisa pada beban linier dan non linier.
3. Pengaruh nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) terhadap waktu trip MCB.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan yang meluas maka penulis akan membatasi pembahasan tugas akhir ini dengan hal-hal sebagai berikut :

1. MCB yang digunakan adalah MCB Merk shukaku tipe C dengan arus nominal 2A
2. Beban non linier yang digunakan adalah lampu hemat energi dan dimmer yang dihubungkan dengan lampu pijar. Sedangkan beban linier yang digunakan adalah lampu pijar.
3. Pengamatan dan pengambilan data harmonisa dilakukan dengan menggunakan alat *Pilot Monitoring Power Meter* PMAC 770 dan *Power Analyzer* Lutron DW-60922.

4. Tidak membahas lebih spesifik proses timbulnya harmonisa yang disebabkan oleh beban non linier.
5. Sumber tegangan AC 220V frekuensi 50 Hz.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar dampak harmonisa terhadap waktu trip pada MCB. Ketika diberi beban linier dan non linier.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan pengaruhnya terhadap waktu trip pada MCB, sehingga dengan adanya penelitian ini dapat mengetahui dan mengantisipasi adanya harmonisa yang terjadi, atau jika belum maka nantinya dapat mengantisipasi dampak buruk dari adanya harmonisa yang terjadi tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

- **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori yang digunakan untuk penelitian dan untuk mendukung permasalahan yang diteliti.

- **BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisi tahapan penyelesaian penelitian ini yang meliputi studi literature, perancangan alat, pembuatan alat, pengujian alat, pengambilan data, perhitungan, dan analisis data.

- **BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Berisi pengujian dan pengambilan data hasil perancangan alat yang kemudian digunakan untuk analisis.

- **BAB V : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dari analisis hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Harmonisa

Harmonisa adalah fenomena yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Gelombang ini terbentuk dari kelipatan frekuensi fundamentalnya (50 Hz), misalnya: 100 Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, dan seterusnya. Ini disebut sebagai frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/ aslinya yaitu gelombang dengan frekuensi 50 Hz, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya.

Bentuk gelombang dari gelombang fundamental adalah gelombang sinusoidal. Menurut, ahli matematika Jean Baptiste Fourier, gelombang yang tidak sinusoidal merupakan penjumlahan dari gelombang-gelombang sinusoidal dengan frekuensi kelipatan frekuensi gelombang fundamental.

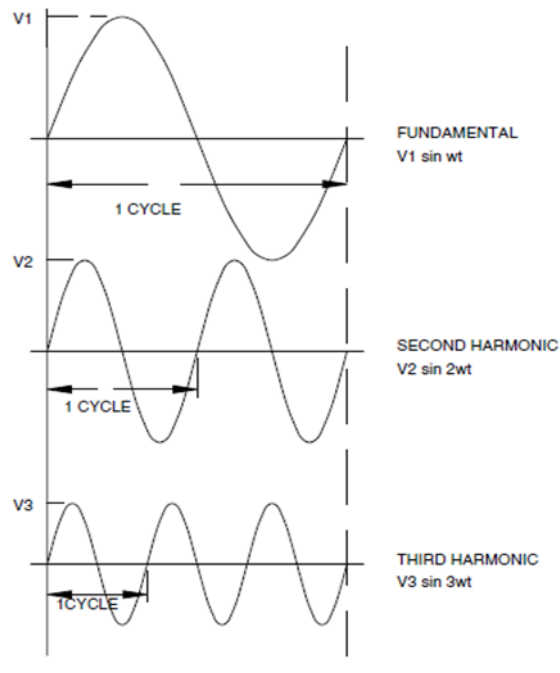
Untuk gelombang non-sinusoidal, persamaan matematika Fourier dapat dinyatakan sebagai berikut (C Sankaran, 2002:80):

$$v(t) = V_0 + V_1 \sin(\omega t) + V_2 \sin(2\omega t) + V_3 \sin(3\omega t) + \dots + V_n \sin(n\omega t) + V_{n+1} \sin((n+1)\omega t) + \dots \quad (2-1)$$

Dalam persamaan ini, V_0 menunjukkan komponen DC dari gelombang. $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ adalah nilai maksimum dari harmonisa. Jika frekuensi gelombang fundamental adalah f , maka harmonisa kedua mempunyai frekuensi $2 \times f$, harmonisa ketiga mempunyai frekuensi $3 \times f$, dan harmonisa ke- n akan mempunyai frekuensi $n \times f$. jika frekuensi gelombang fundamental/ harmonisa gelombang pertama 50 Hz, maka frekuensi harmonisa kedua adalah 100 Hz, frekuensi harmonisa ketiga adalah 150 Hz, dan seterusnya seperti pada gambar 2.1.

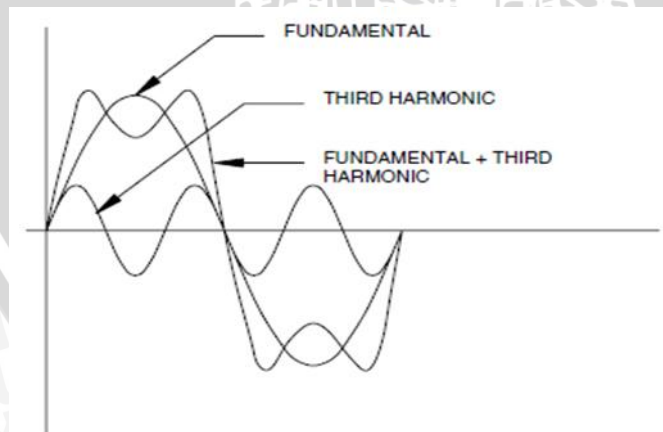
Dengan menggunakan analisa matematika Fourier, gelombang non-sinusoidal dapat diturunkan menjadi beberapa gelombang sinusoidal yang mempunyai frekuensi gelombang fundamentalnya. Analisa Fourier ini dapat menunjukkan harmonisa-harmonisa yang

menyebabkan gelombang fundamental menjadi gelombang cacat seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.1 Fundamental, Harmonisa kedua, dan Harmonisa ketiga

Sumber: C Sankaran, 2002:84



Gambar 2.2 Hasil Penjumlahan Gelombang-gelombang Non Sinusoidal

Sumber: C Sankaran, 2002:83

2.1.1 Analisis Fourirer Untuk Bentuk Gelombang

Setiap bentuk gelombang periodik, yaitu yang memiliki bentuk $f(t)=f(t+T)$ dapat dinyatakan oleh sebuah deret Fourier bila memenuhi persyaratan Dirichlet :

- 1) Bila gelombang diskontinyu, hanya terdapat jumlah diskontinuitas yang terbatas dalam periode T
- 2) Gelombang memiliki nilai rata-rata yang terbatas dalam periode T
- 3) Gelombang memiliki jumlah maksimum dan minimum yang terbatas dalam periode T

Bila syarat-syarat tersebut dipenuhi, deret Fourier dapat dinyatakan dalam bentuk:(Budiono, 1997:181)

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (2-2)$$

Secara umum, tegangan dan arus akibat harmonisa dapat dinyatakan dalam deret Fourier seperti berikut:

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos(h\omega_o + \phi_h) \quad (2-3)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} b_h \cos(h\omega_o + \theta_h) \quad (2-4)$$

Dengan :

$$a_o = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2-5)$$

$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos h\omega t dt \quad (2-6)$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin h\omega t dt \quad (2-7)$$

Dimana h adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 1,2,3,... dan seterusnya. Pada kasus di sistem tenaga listrik, umumnya orde yang dominan adalah orde ganjil saja (1,3,5,dst). Orde h=1 menyatakan komponen dasar atau fundamental dari gelombang. Suku ao menyatakan komponen dc atau nilai rata-rata dari gelombang, yang mana umumnya komponen ini tidak muncul dalam jaringan sistem arus bolak-balik. Bila gelombang arus atau tegangan berbentuk sinusoidal sempurna, maka orde h=1 saja yang ada. Gelombang yang cacat (terdistorsi) memiliki koefisien-koefisien dengan indeks h. Amplitude harmonisa biasa dinyatakan sebagai:

$$c_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2}, h \geq 1 \quad (2-9)$$

Nilai-nilai c sebagai fungsi h seringkali digambarkan dalam suatu barchart dan dikenal dengan “spektrum frekuensi” gelombang. Perhitungan koefisien dari tiap harmonisa dapat dilakukan dengan berdasarkan langkah-langkah prosedur pendekatan numerik berikut ini(A.R. Margunadi, 1994:311):

1. Untuk menghitung pendekatan suatu integrasi secara numerik, interval antara batas-batas integrasi dibagi menjadi k bagian yang sama. Bila $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ menyatakan Ordinat $f(t)$ pada batas-batas bagian interval tersebut, sedangkan a dan b menunjukkan batas-batas integrasi maka :

$$\int_a^b f(t)dt = \frac{b-a}{k} (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_k) \quad (2-10)$$

2. Relasi untuk memperoleh koefisien tiap harmonisa sebagai berikut:

$$a_0 = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \quad (2-11)$$

$$a_h = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \cos(h \frac{i2\pi}{k}) \quad (2-12)$$

$$b_h = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \sin(h \frac{i2\pi}{k}) \quad (2-13)$$

3. Formula untuk sudut fasa adalah (Sudaryatno Sudirham, 2010:93):

$$\varphi_h = \tan^{-1} \left(\frac{b_h}{a_h} \right) \quad (2-14)$$

4. Amplitudo dari setiap komponen harmonisa adalah :

$$A = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \quad (2-15)$$

Sehingga persamaannya

$$f(t) = a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} [\sqrt{a_h^2 + b_h^2} \cos(h \omega_0 t - \varphi_h)] \quad (2-16)$$

Komponen arus harmonik yang dibangkitkan hanya orde ganjil karena bentuk gelombang arus dasarnya yang simetrik. Dengan demikian, frekuensi dari arus maupun tegangan harmonik yang dihasilkan adalah kelipatan ganjil dari frekuensi dasar sistem. Misalnya di Indonesia menggunakan frekuensi sistemnya adalah 50 Hz, maka frekuensi harmonik yang terjadi adalah 150 Hz pada harmonik orde ke-3, 250 Hz pada orde ke-5, 350 Hz pada orde ke-7, dan seterusnya.

2.1.2 Harmonisa Arus dan Tegangan

Tingkat kecacatan seringkali dinyatakan dengan Total Harmonic Distortion (THD), *Total Harmonic Distortion* digunakan sebagai ukuran untuk melihat berapa besar pengaruh

keseluruhan adanya harmonisa terhadap sinyal sinus. Pengaruh keseluruhan harmonisa diperbandingkan terhadap komponen fundamental, karena komponen fundamental yang memberikan transfer energi nyata.

Untuk tegangan nonsinus, THD didefinisikan sebagaiberikut: (J. Arrilanga & N.R Watson, 2003:11)

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_1^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2-17)$$

V_{rms} dapat dinyatakan dengan identitas parseval $V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}$

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \quad (2-18)$$

Dengan,

V_h = tegangan rms pada frekuensi tunggal pada harmonisa ke n

V_1 = tegangan rms fundamental

N = harmonisa maksimum

h = orde harmonisa

Untuk arus nonsinus, THD didefinisikan sebagai berikut:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2-19)$$

I_{rms} dapat dinyatakan dengan identitas parseval $I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \quad (2-20)$$

Dengan :

I_h = arus rms pada frekuensi tunggal pada harmonisa ke n

I_1 = arus rms fundamental

N = harmonisa maksimum

H = orde harmonisa

2.1.3 Standar Harmonisa

Karena begitu besar dan bervariasi dampak harmonisa pada peralatan dan sistem secara teknis dan ekonomis maka diperlukan standarisasi harmonisa. Standar yang mengatur distorsi harmonisa ini adalah standar IEEE 512-1992, standar ini mengatur batasan harmonisa yang diijinkan seperti terlihat dalam Tabel 2.1 dan 2.2

Tabel 2.1 Standar Maksimum Distorsi Harmonisa IEEE 519-1992

Maksimum Distorsi Harmonisa Dalam % Arus Beban (I_L)						
Harmonisa Orde Ganjil Pada : $120 \text{ V} \leq V \leq 69 \text{ kV}$						
H I_{sc}/I_L	$h/11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	THDi
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20-50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50-100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100-1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0
Harmonisa orde genap dibatasi 25% dari batasan harmonisa orde ganjil diatas						
Dimana:						
I_{sc}	=	Arus hubung singkat maksimum di PCC atau pada Alat Pengukur dan Pembatas (APP).				
I_L	=	Arus beban demand maksimum (komponen frekuensi fundamental) di PCC (Point of Common Coupling = Titik sambung bersama).				

Sumber : Alexander Kusko and Marc T. Thompson, 2007:79

Tabel 2.2 Standar Distorsi Tegangan

Maximum distortion (in%)	System voltage		
	Below 69 kV	69-138 kV	>138 kV
Individual harmonic (%)	3.0	1.5	1.0
Total harmonic(%)	5.0	2.5	1.5

Sumber : James j. Burke, 1994:284

2.2 Jenis Beban Listrik

Didalam sistem tenaga listrik dikenal 2 (dua) jenis beban listrik yaitu beban listrik linier dan Beban listrik nonlinier.

a. Beban Listrik Linier

Beban Listrik Linier adalah beban yang tidak mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus. Beban linier merupakan beban yang mengeluarkan bentuk gelombang yang berbentuk linier, dimana arus yang mengalir sebanding dengan tahanan dan perubahan tegangan harmonisa (Roger C Dugan and Mark F McGranaghan, 2003:184). Pada beban linier ini, bentuk gelombang arus akan mengikuti bentuk

gelombang tegangan yang ditimbulkannya. Bila gelombang tegangan berbentuk sinusoidal, bentuk gelombang arus juga membentuk sinusoidal.

Contoh-contoh beban listrik linier:

- 1) Pemanasan Resistif
- 2) Lampu-lampu Pijar
- 3) *Rice Cooker*
- 4) Setrika

b. Beban Listrik Nonlinier

Beban nonlinier adalah beban yang mempengaruhi karakteristik bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya. Beban nonlinier inilah yang menimbulkan atau menghasilkan harmonisa.

Contoh-contoh Beban Listrik Nonlinier:

- 1) *Static Power Converter*
- 2) *Electronic Ballast*
- 3) Variabel Frekuensi
- 4) *Arc Furnace*
- 5) Komputer, printer, semikonduktor *switching*

Beban nonlinier terbagi atas 2 (dua) beban: (Roger C Dugan and Mark F McGranaghan, 2003:189).

- 1) Beban nonlinier yang di industri (daya besar)
 - Konverter Daya Tiga fasa
 - DC-Drive
 - AC-Drive
- 2) Beban nonlinier Umum/Komersil (daya kecil)
 - *Electronic ballast*
 - Lampu hemat energi (LHE)
 - Komputer
 - Alat-alat elektronik
 - *Air Conditioner (AC)*

- *Transformator*
- *Electric Drive*

Peralatan listrik modern ditandai oleh beban-beban nonlinier. Beban ini dapat membuat distorsi yang signifikan dari total beban alat listrik yang dapat menimbulkan arus harmonisa ke dalam sistem daya dan menyebabkan distorsi harmonisa pada tegangan. Masalah harmonisa ini dipengaruhi oleh kenyataan bahwa beban nonlinier ini memiliki faktor daya relatif rendah.

2.3 Sumber - Sumber Harmonisa

Sumber-Sumber yang dapat menimbulkan harmonisa adalah berbagai macam beban-beban non linier antara lain komputer, printer, lampu hemat energi, pengendali kecepatan motor, pengisi baterai, motor induksi, aneka jenis elektronika daya dan masih banyak lagi yang sebagian besar bekerja dengan prinsip *switching* frekuensi tinggi.

2.4 Efek Harmonisa

Efek terhadap sistem tenaga sendiri antara lain peningkatan susut energi yaitu energi hilang yang tak dapat dimanfaatkan, yang secara alamiah berubah menjadi panas. Harmonisa menyebabkan peningkatan temperatur pada konduktor kabel, pada kapasitor, induktor, dan transformator, yang bisa berakibat pada derating dari alat-alat ini dan justru derating ini membawa kerugian finansial yang lebih besar dibandingkan dengan dampak langsung yang berupa susut energi. Harmonisa tidak hanya menyebabkan derating piranti tetapi juga umur ekonomis piranti. Pembebanan nonlinier tidak selalu kontinyu, melainkan fluktuatif. Oleh karena itu pada selang waktu tertentu piranti terpaksa bekerja pada batas tertinggi temperatur kerjanya bahkan mungkin terlampaui pada saat-saat tertentu.

Kenaikan tegangan bisa terjadi akibat adanya harmonisa yang dapat menimbulkan partial-discharges dalam piranti yang memperpendek umur. Harmonisa juga dapat menyebabkan terjadinya overload pada penghantar netral, kWh-meter memberi penunjukan tidak normal, rele proteksi juga akan terganggu, rele tidak bisa mendeteksi besaran rms sehingga rele atau *circuit breaker* tidak bisa merespon dengan benar menjadikan waktu pemutusan yang lebih cepat dari pada saat keadaanya normalnya dan bahkan bisa terjadi gagal trip. (Sudaryatno Sudirham, 2010:161)

2.4.1 Efek Harmonisa Pada Peralatan Proteksi (MCB)

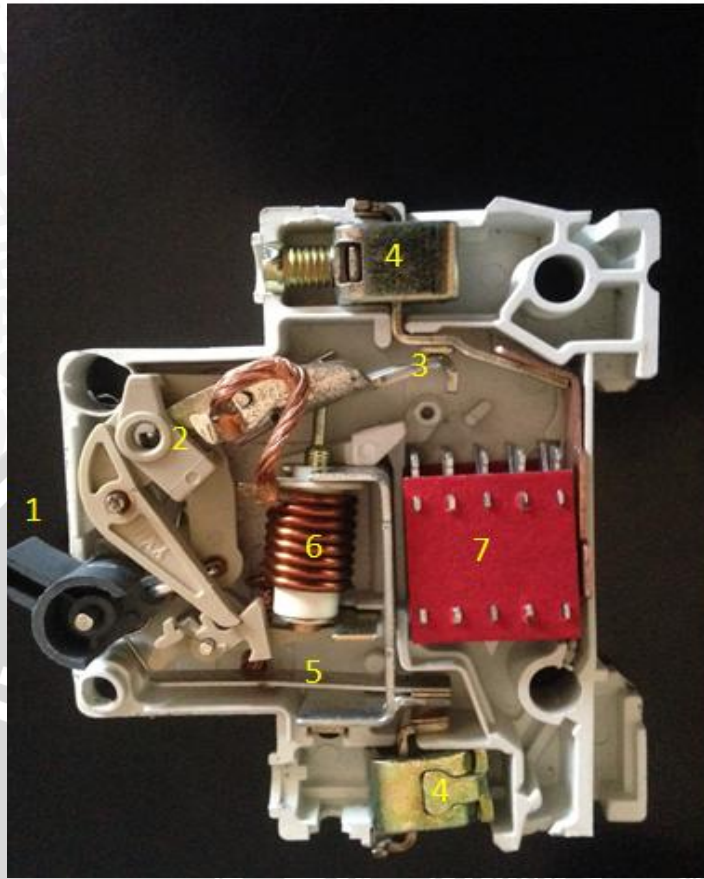
Peralatan Proteksi *Miniature Circuit Breaker* (MCB) dapat mengalami gangguan berupa adanya arus harmonik yang mengalir. Sistem kerja pada MCB menggunakan panas untuk mentripping bimetal yang terdapat pada MCB tersebut. Jika arus yang lewat melebihi rating pada spesifikasi MCB atau arusnya tidak normal maka, MCB akan mengganggu arus yang melewatinya tinggi sehingga MCB akan melakukan proses *tripping* karena MCB mendapati arus puncaknya. Dimana bimetal disini termasuk sebagai batang konduktor sehingga arus yang mengalir dapat menyebabkan rugi-rugi konduktor (I^2R). Apabila arus yang mengalir merupakan arus harmonik maka rugi-rugi akan semakin tinggi karena kenaikan arus rms tersebut dan menyebabkan panas pada batang konduktor. Panas tersebut dapat mengurangi efisiensi pada batang konduktor tersebut.

2.5 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

MCB merupakan singkatan dari *Miniature Circuit Breaker* umumnya MCB digunakan oleh pihak PLN untuk membatasi arus sekaligus sebagai pengaman dalam suatu instalasi listrik. MCB berfungsi sebagai pengaman hubung singkat antar fasa atau antar fasa dengan netral/bumi. dan juga berfungsi sebagai pengaman beban lebih. MCB akan secara otomatis akan segera memutuskan arus apabila arus yang melewatinya melebihi dari arus nominal yang telah ditentukan pada MCB tersebut.

Menurut peraturan IEC 898-85 terdapat tiga macam karakteristik MCB yaitu tipe B, C, dan D untuk arus nominal yang terdapat pada MCB adalah 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A dan lain sebagainya. nominal MCB ditentukan dari besarnya arus yang bisa dihantarkan.

2.5.1 Bagian-Bagian MCB



Gambar 2.3 Bagian-Bagian MCB

Bagian dalam MCB sebenarnya lebih dominan bersifat mekanis dengan fungsi *switch* mekanis dan kontak penghubung/pemutus arus listrik. Penjelasan dari nomor-nomor dalam gambar adalah sebagai berikut :

1. *Actuator Level* atau *toggle switch*, digunakan sebagai *Switch On-Off* dari MCB.
2. *Switch* mekanis yang membuat kontak arus listrik bekerja.
3. Kontak arus listrik sebagai penyambung dan pemutus arus listrik.
4. Terminal tempat koneksi kabel listrik dengan MCB.
5. Bimetal atau batang bimetal yang berfungsi sebagai *thermal trip* dan bekerja bila terjadi beban berlebih pada sistem.
6. *Solenoid Coil* atau lilitan yang berfungsi sebagai *magnetic trip* dan bekerja bila terjadi hubung singkat arus listrik pada sistem.
7. Pemadam busur api, jika terjadi percikan api saat terjadi pemutusan atau pengaliran kembali arus listrik

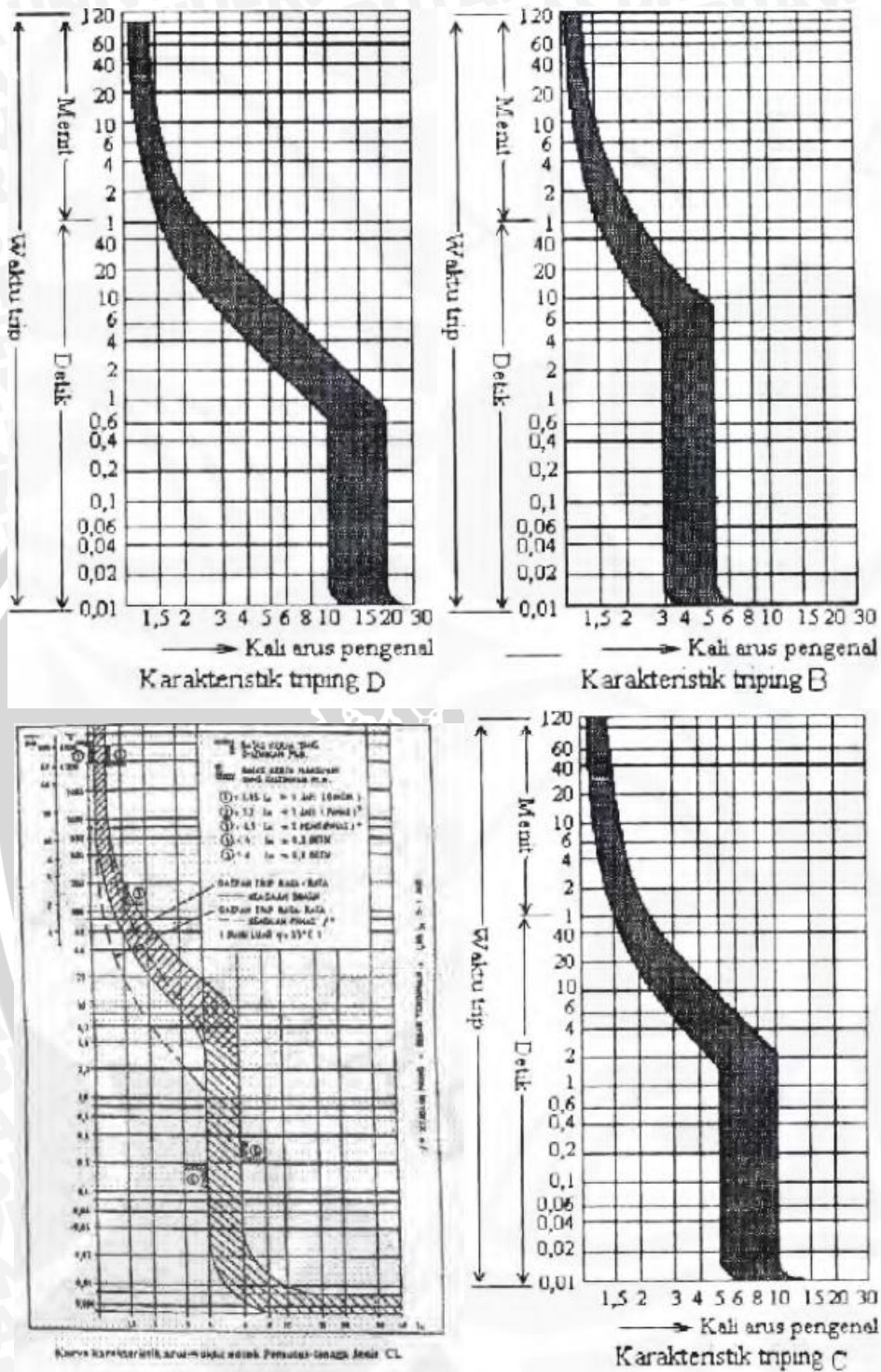
2.5.2 Tipe – Tipe MCB

Menurut karakteristik Tripnya, ada tiga tipe utama dari MCB, yaitu: tipe B, tipe C, dan tipe D yang didefinisikan dalam IEC 60898.

- MCB Tipe B, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 3 sampai 5 kali dari arus maksimum atau arus nominal MCB. MCB tipe B merupakan karakteristik trip tipe standar yang biasa digunakan pada bangunan domestik.
- MCB Tipe C, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 5 sampai 10 kali arus nominal MCB. Karakteristik trip MCB tipe ini akan menguntungkan bila digunakan pada peralatan listrik dengan arus yang lebih tinggi, seperti motor dan lain sebagainya.
- MCB tipe D, adalah tipe MCB yang akan trip ketika arus beban lebih besar 8 sampai 12 kali arus nominal MCB. Karakteristik trip MCB tipe D merupakan karakteristik trip yang biasa digunakan pada peralatan listrik yang dapat menghasilkan lonjakan arus kuat seperti, transformator, dan kapasitor.



2.5.3 Karakteristik MCB



Gambar 2.5 Grafik Karakteristik MCB tipe D, B, CL dan C

Sumber: SPLN3-1978, Pentanahan jaringan tegangan rendah PLN dan Pentanahan Instalasi

Bisa dilihat pada gambar grafik di atas bahwa karakteristik arus dan waktu trip pada setiap tipe-tipe MCB berbeda, oleh karena itu penggunaannya pada instalasi listrik juga berbeda. Adapun penggunaan dari tipe-tipe tersebut antara lain :

- Tipe B : Pengaman untuk suatu instalasi pada industri maupun perumahan.
- Tipe C : Pengaman untuk suatu instalasi yang terdapat beban berupa motor

Tipe D : Pengaman ini di khususkan pada instalasi dengan arus masukan yang tinggi seperti untuk *low Voltage (LV)/LV* pada transformer/katup solenoid, dan kapasitor.

2.6 Prinsip Kerja MCB

Pada umumnya, MCB bekerja menggunakan prinsip (*Thermal/Magnetic*) untuk membuka kontak *breaker* ketika gangguan arus lebih terjadi. Unit *Thermal* trip bekerja berdasarkan kenaikan nilai temperature/nilai arus, sedangkan unit *Magnetic* trip bekerja berdasarkan hubungan singkat.

2.6.1 Prinsip Kerja MCB Ketika terjadi Beban Lebih

Unit *thermal* trip digunakan untuk memproteksi jaringan listrik dari gangguan beban lebih, Unit *thermal* trip menggunakan logam bimetal yang ditempatkan di belakang trip bar *circuit breaker*, dan merupakan bagian dari *breaker* yang dilalui arus.

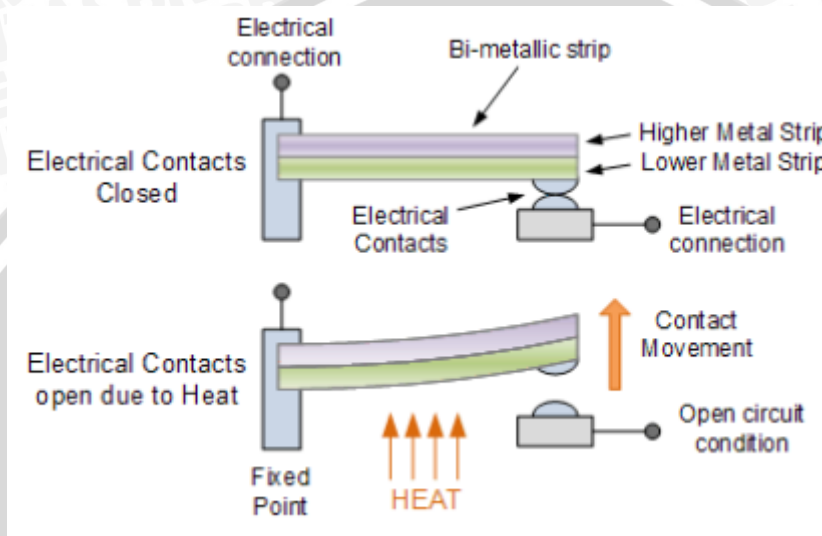
Ketika terjadi gangguan beban lebih, maka nilai arus yang melewati logam bimetal akan bertambah yang membuat temperatur pada logam bimetal semakin besar hingga pada suatu saat dan temperatur tertentu logam bimetal ini akan membengkok dan menekan trip bar yang akan membuka kontak MCB. Waktu yang dibutuhkan bimetal untuk membengkok dan membuka kontak MCB sesuai dengan kenaikan besar arus, semakin besar arus gangguan yang terjadi semakin cepat logam bimetal membengkok.

Bimetal adalah jenis sensor suhu atau saklar elektro mekanis yang terbuat dari dua buah lempengan logam yang berbeda koefisien muainya (α) yang direkatkan menjadi satu. Tingkat pemuaian yang berbeda dari dua logam tersebut akan menghasilkan gerakan mekanis melengkung ketika strip atau lempengan bimetal tersebut terkena panas. *Bimetal* biasanya digunakan pada saklar listrik *thermostat*, yang biasa diaplikasikan untuk mengontrol elemen panas, seperti pada setrika, pemanas, air, oven, tungku pembakaran, penanak nasi dan lain sebagainya.

Selain digunakan pada saklar *termostat*, bimetal biasanya juga digunakan pada perangkat pelindung atau protektor seperti MCB (*Miniature Circuit Breaker*) dan *overload relay* yang berfungsi untuk melindungi rangkaian dari arus lebih (*over current*). Dimana

biasanya terdapat kumparan kawat yang digunakan untuk memanaskan lempengan/ strip bimetal, sehingga MCB atau *overload relay* akan trip bila terjadi overcurrent.

Prinsip kerja bimetal ketika bimetal dipanaskan, maka logam yang memiliki koefisien muai lebih tinggi akan memuai lebih panjang, sedangkan yang memiliki koefisien muai lebih rendah akan memuai lebih pendek, Oleh karena perbedaan reaksi muai tersebut maka bimetal akan melengkung kearah logam yang muainya lebih tinggi.



Gambar 2.7 Reaksi bimetal ketika dipanaskan

Pada gambar diatas, bimetal memuai keatas ketika dipanaskan, sehingga kontak saklar membuka dan memutus aliran arus. Dan ketika dingin, kontak saklar akan menutup kembali dan memungkinkan arus listrik mengalir melaluinya

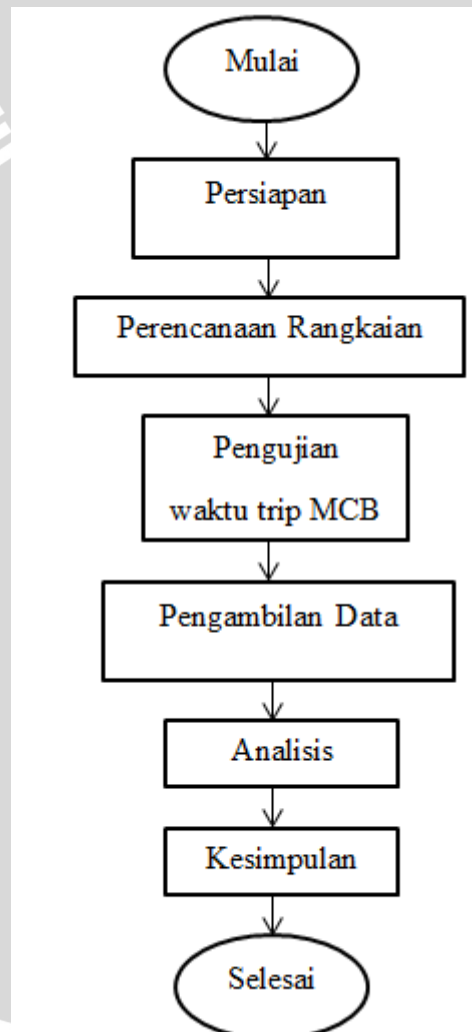
2.6.2 Prinsip Kerja MCB Ketika terjadi Hubung Singkat

Ketika gangguan hubung singkat terjadi, maka nilai arus yang melewati MCB akan bertambah besar secara signifikan yang akan menghasilkan medan magnet yang cukup besar. Medan magnet ini akan mendorong *hammer trip*, *hammer trip* ini nantinya akan mendorong *moving contact* yang membuat kontak akan terbuka. Proses terbukanya kontak *breaker* ketika terjadi gangguan hubung singkat umumnya terjadi setelah 5 milidetik setelah terjadi gangguan

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini digunakan untuk memberikan suatu alur kerangka berfikir dari awal penulisan, pengambilan data, dan analisis pengaruh beban nonlinier terhadap waktu trip pada *Miniature Circuit Breaker* (MCB). Langkah-langkah dalam analisis secara umum dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Pengerjaan Penelitian

3.2 Persiapan




Sebelum dilakukan pengujian, perlu adanya perencanaan yang meliputi penyediaan, persiapan, dan pengecekan pada alat pengujian serta alat instrumentasi dengan melakukan

pengecekan dan kalibrasi terhadap alat ukur. Hal tersebut harus dilakukan agar mengurangi kegagalan dan keakuratan dalam pengambilan data, sehingga dalam pengujian ini berjalan dengan baik.

3.2.1 Penyediaan Alat Pengujian

Pada penelitian ini digunakan *dimmer* sebagai pengatur tegangan pada lampu pijar. Pada penelitian ini digunakan dua buah beban yaitu *dimmer* yang masing-masing dipasang paralel dengan beberapa buah lampu pijar sebagai pengendali tegangan pada lampu pijar tersebut. Tegangan pada lampu pijar di ubah-ubah dengan menggunakan *dimmer* agar mendapatkan variasi harmonisa yang diinginkan agar mengetahui pengaruh perubahan kandungan harmonisa terhadap waktu trip pada MCB. Berikut merupakan alat-alat pengujian yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

Tabel 3. 1 Peralatan yang digunakan untuk pengambilan data



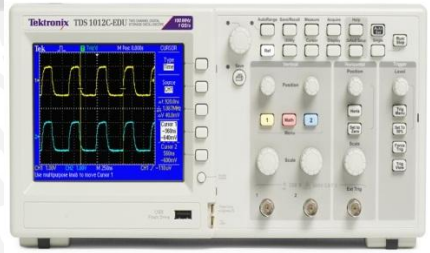
No	Nama	Spesifikasi	Jumlah	Gambar
1	<i>Dimmer</i>	RPM Electronic 750W;	2	
2	MCB (<i>Miniature Circuit Breaker</i>)	Shukaku Tipe C; 2A; 230/400V; 50Hz; $R_m = 0,5 \Omega$	1	
3	Lampu Pijar (Beban)	Chiyoda 200W	6	

4	Kabel penghubung	-	-	
---	------------------	---	---	--

3.2.2 Penyediaan Alat ukur dan Alat bantu lainnya.

Peralatan instrumentasi dan peralatan tambahan yang dibutuhkan pada saat pengambilan data adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Alat instrumen dan peralatan tambahan

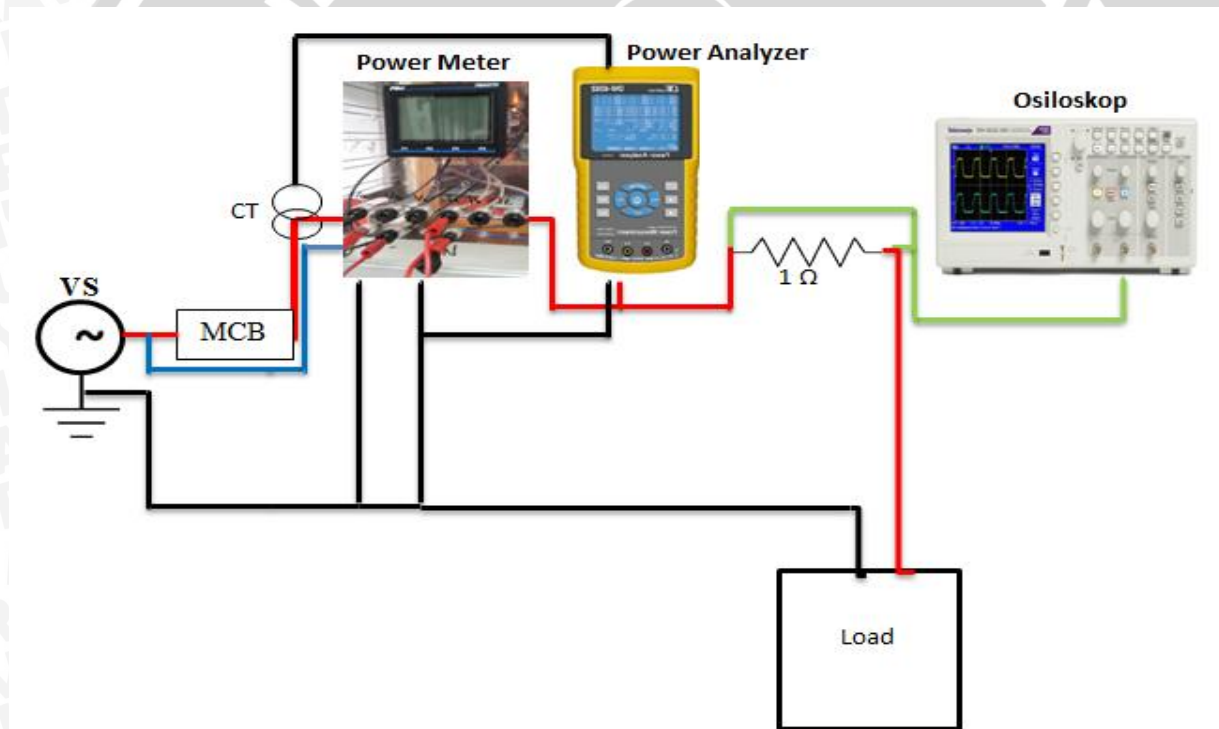
No	Nama	Spesifikasi	Jumlah	Gambar
1	Pilot Monitoring Power Meter	PMAC770; Imax=5A;	1	
2	Power Analyzer	Lutron DW-6092; Max IN 600V;	1	
3	Oscilloscope	Tektronic TDS 1012C-SC	1	

3.2.3 Pengecekan

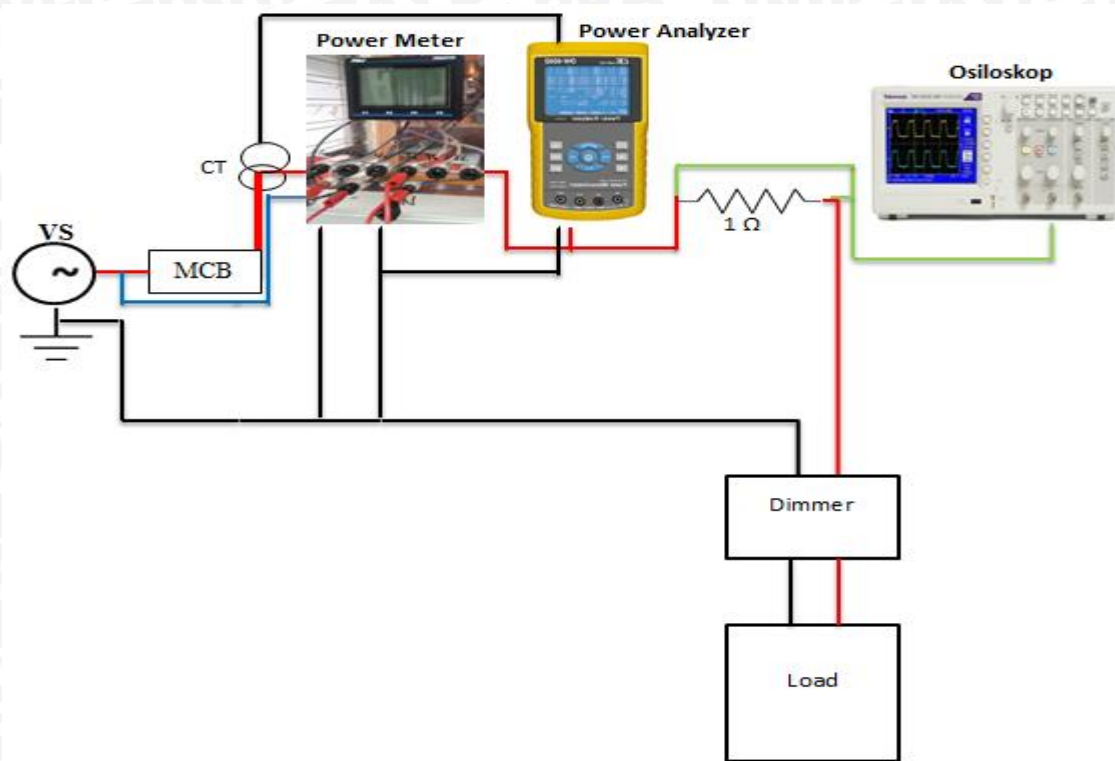
Pengecekan yang dimaksud ialah pengecekan terhadap kabel penghubung apakah dalam kondisi baik (tidak putus) dan memastikan alat pengujian dalam kondisi baik terutama alat ukur yang digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu.

3.3 Rangkaian pengujian

Rangkaian pengujian yang akan dilakukan ada dua yaitu pertama dengan menggunakan beban linier lampu pijar yang dipasang paralel dan rangkaian kedua untuk beban non linier yang menggunakan dua buah *dimmer* yang dipasang paralel untuk mengatur tegangan dari enam buah lampu pijar, agar mendapatkan variasi harmonisa yang diinginkan. Gambar rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4



Gambar 3.2 Rangkaian pengujian beban linier



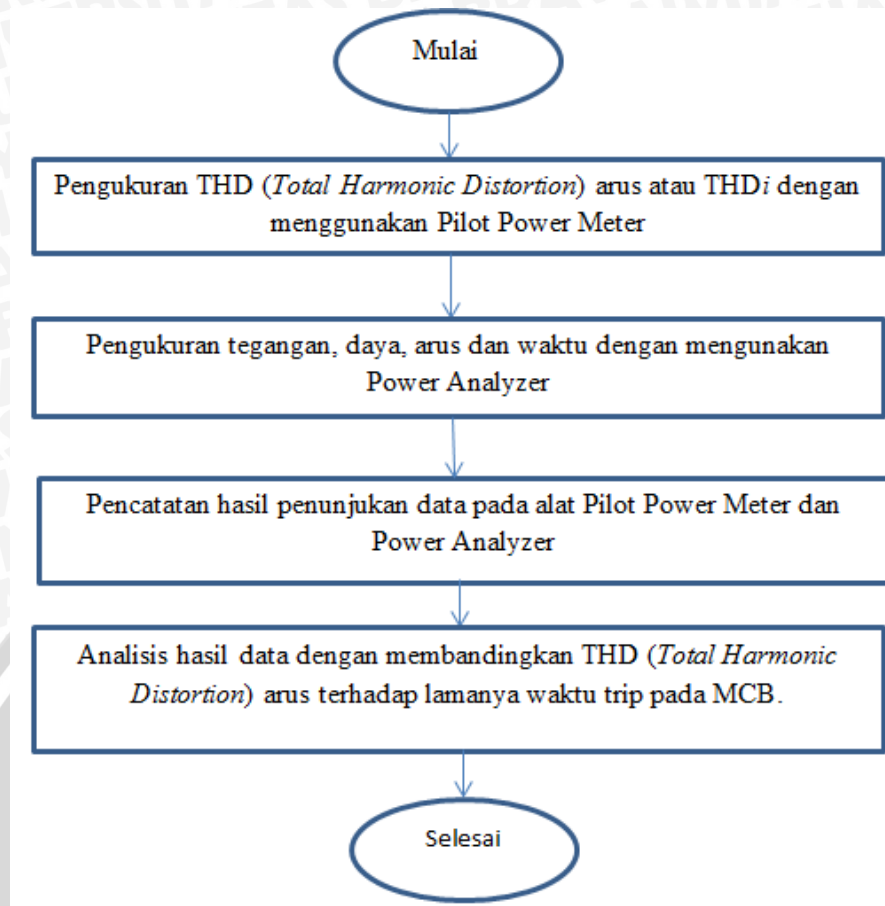
Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Beban non linier

3.4 Pengujian

Dalam pengujian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Elektronika Daya, Universitas Brawijaya. Pengujian yang akan dilakukan yaitu melakukan pengukuran terhadap kandungan harmonisa pada beban linier dan non linier (beban dihubungkan dengan *dimmer*) dan pengaruhnya terhadap waktu trip pada MCB saat di beri beban lebih. Pengujian dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan data yang berbeda dengan cara mengatur sudut penyalaaan tegangan pada *dimmer*. Dari pengujian tersebut akan diukur kandungan harmonisa yang timbul dengan menggunakan *Pilot Power Monitoring Analyzer* PMAC 770.

3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Data-data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer adalah dengan melakukan pengujian terhadap waktu trip MCB yang dihubungkan dengan beban linier dan non linier. Adapun langkah-langkah pengambilan data penelitian ditunjukkan pada diagram alir (*flowchart*) Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Diagram Alir Tahap Pengambilan Data

3.5.1 Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil penelitian dan pengamatan. Data primer didapatkan dari hasil pengukuran dan pengujian di lokasi, dengan cara :

- Pengukuran Harmonisa dengan *Pilot Monitoring Power Meter*

Pengukuran kandungan harmonisa pada beban lampu pijar dengan *dimmer* sebagai pengatur sudut penyalan tegangan dilakukan menggunakan *PILOT Monitoring Power Meter PMAC770*. Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya THD (*Total Harmonic Distortion*) arus pada lampu pijar dengan *dimmer* sebagai pengatur sudut penyalan tegangan seperti pada Tabel 3.2.

- Pengukuran daya, arus, tegangan dan waktu dengan *Power Analyzer*

Pengukuran besaran daya, arus, tegangan dan waktu pada beban linier maupun non linier dilakukan menggunakan *Lutron Power Analyzer DW-6092*. Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya daya, arus, tegangan dan waktu seperti pada Tabel 3.2.

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, *web browsing* dan forum-forum resmi yang menunjang dalam penyusunan penelitian. Data yang dibutuhkan antara lain:

1. Data beban.
2. Data spesifikasi MCB (*Miniature Circuit Breaker*) 2A satu fasa.

3.6 Perhitungan dan Analisis Data

Dalam tahap ini, setelah pengujian dilakukan dalam mendapatkan data yang diperlukan untuk mengetahui pengaruh harmonisa, dilakukan perhitungan sesuai persamaan yang telah dicantumkan pada BAB II. Setelah perhitungan dilakukan, langkah selanjutnya adalah dilakukan analisis dengan mengelompokkan beban berdasarkan jenisnya, meliputi:

- a. Analisis perhitungan arus harmonisa pada beban linier dan non linier (Analisis THDi). Untuk menganalisa THD ini, dipakai standar IEEE 519 "*Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*".
- b. Analisis energi yang dibutuhkan untuk mentriapkan MCB.
- c. Analisis pengaruh harmonisa terhadap waktu trip pada MCB.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis. Diakhir penelitian ini akan ditarik suatu kesimpulan dari semua proses analisis yang telah dilakukan, dan pemberian saran kepada para pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan penelitian ini. Saran-saran yang diberikan kepada para pembaca meliputi hal-hal yang menjadi kendala dalam penelitian, atau hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi terkait pengaruh harmonisa terhadap kinerja pada MCB.



BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Beban Linier

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Daya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Tujuan dari pengujian ini yaitu mengetahui pengaruh harmonisa terhadap kinerja MCB (*Miniature circuit Breaker*) dengan beban linier dan nonlinier.

Untuk pelaksanaan pengujian ini digunakan dua jenis beban, yaitu beban linier dan non linier. Hal ini dimaksudkan untuk membandingkan seberapa besar selisih waktu trip MCB apabila dihubungkan dengan dua jenis beban yang berbeda, dimana beban non linier menimbulkan adanya harmonisa.

Beban yang digunakan sebagai beban linier yaitu lampu pijar, sedangkan beban yang digunakan sebagai beban non linier adalah lampu pijar yang dihubungkan dengan dimmer.

4.2 Metode Pengambilan Data dan Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan tiga macam pengujian yaitu pengukuran waktu trip yang terlihat pada Stopwatch, dan pengukuran THDi dengan menggunakan PILOT *Power Monitoring Analyzer* PMAC 770. Untuk kebutuhan analisis dibutuhkan pula variabel besaran kelistrikan yang melewati MCB antara lain tegangan, arus, daya nyata, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya dengan menggunakan *Power Analyzer* Lutron DW-6092.

Pengambilan data yang dilakukan, meliputi:

1. MCB dibebani dengan beban linier yaitu lampu pijar yang dipasang paralel.
2. MCB dibebani dengan beban non linier yaitu lampu hemat energi dan lampu pijar yang dihubungkan dengan dimmer untuk mendapatkan variasi THDi (*total harmonic distortion*) arus.

4.3 Rangkaian Pengujian

Pada pengujian MCB dihubungkan dengan berbagai jenis beban yaitu beban linier dan beban nonlinier. Rangkaian dari kedua jenis pengujian diatas sama hanya diubah-ubah

pada sisi bebannya saja. Rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 3.3 sedangkan foto pengujian beban secara keseluruhan terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Gambar Pengujian

4.4 Pengujian Beban Linier atau Tanpa Harmonisa

4.4.1 Peralatan

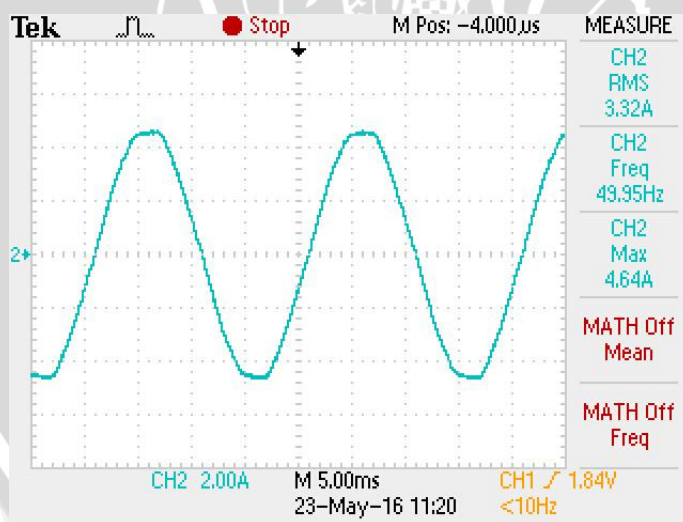
Komponen peralatan yang dibutuhkan pada saat pengujian dan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply*
2. MCB (*Miniature Circuit Breaker*) 2A Shukaku
3. PILOT *Power Monitoring Analyzer* PMAC 770
4. *dimmer* RPM Electronics 750W
5. Kabel Penghubung
6. PC (Personal Computer)
7. *Power Analyzer* Lutron DW-6092
8. Kabel Roll NYM 2x 1.5 mm² 380V/500V
9. Stopwatch
10. Lampu Pijar 6 x 200W, 3 x 100W, 3 x 50W, Lampu Hemat energi 3 x 20W

4.4.2 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur percobaan yang dilakukan pada pengujian di laboratorium Elektronika sebagai berikut:

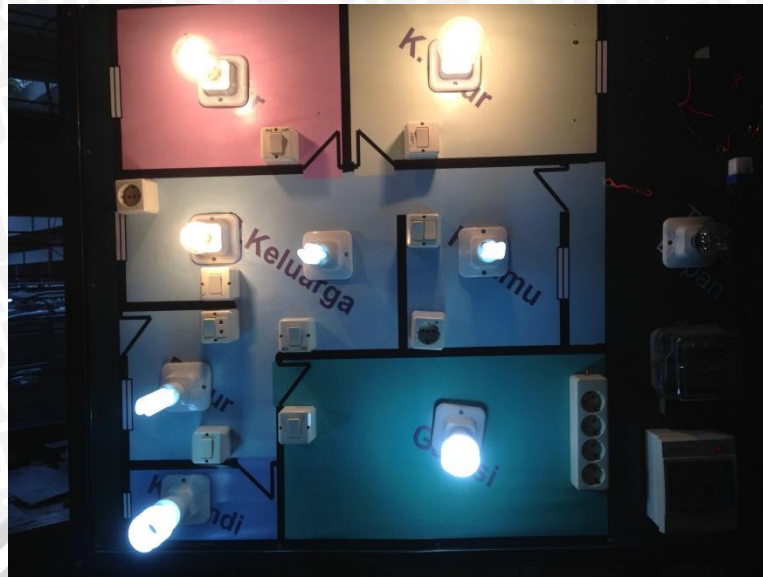
1. Rangkaian pengujian terlihat seperti Gambar 4.1
2. Hubungkan fasa sumber ke masukkan MCB kemudian keluaran MCB dihubungkan ke alat ukur *Pilot Power Monitoring Analyzer* untuk membaca kandungan harmonisa arus sedangkan port N Pilot dihubungkan dengan netral sumber.
3. Fasa keluaran Pilot dihubungkan ke port V1 pada *Power Analyzer* Lutron untuk membaca daya, faktor daya, daya semu, daya reaktif secara *real time*. Kemudian port N dihubungkan dengan netral sumber sedangkan untuk membaca arus menggunakan CT(*Current Transformator*) pada *Power Analyzer* yang dihubungkan ke fasa.
4. Sedangkan untuk melihat bentuk gelombang arus menggunakan Osiloskop Tektronic TDS 1012C-SC yang dihubungkan dengan resistor 1 Ω yang dipasang seri pada kabel fasa. Tampilan bentuk gelombang arus pada alat Osiloskop ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Tampilan gelombang arus pada alat Osiloskop

Sumber : Pengujian Laboratorium

5. Pada Beban digunakan papan instalasi agar lebih mempermudah untuk melakukan pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3



Gambar 4.3. Beban pada papan instalasi

6. Sebelum melakukan pengujian persiapkan Stopwatch untuk mendapatkan waktu trip pada MCB.
7. Ulangi prosedur diatas untuk pengujian terhadap beban linier dan beban non linier.
8. Catat hasil pengukuran pada tabel yang telah disediakan.

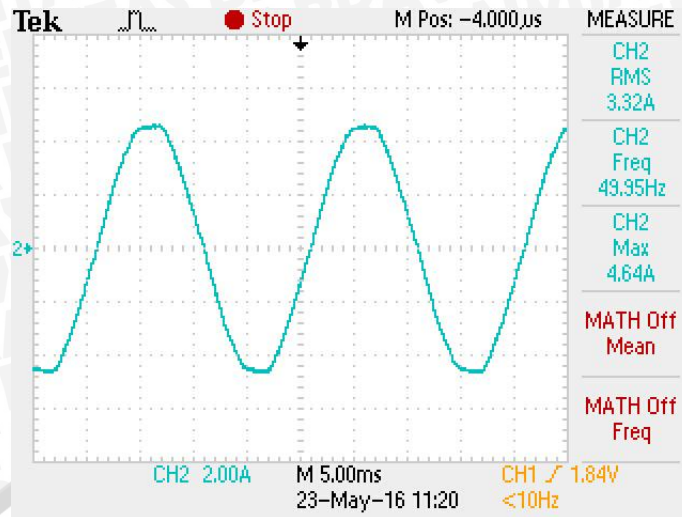
4.5 Data Hasil Pengujian Beban Linier

Hasil pengujian dengan menggunakan beban linier yang berupa Lampu Pijar, ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian dengan beban linier

Jumlah beban	Arus true rms(A)	THDi (%)	Waktu trip MCB (detik)
6 Lampu Pijar	3,558	2,098	71
7 Lampu Pijar	3,620	2,440	60

Pada pengujian beban linier menggunakan lampu pijar yang dipasang paralel ternyata didapat hasil pengujian seperti pada tabel 4.1 yang berarti lampu pijar masih dapat menimbulkan harmonisa, hal ini berarti lampu pijar tidak sepenuhnya bersifat resistif murni. namun karena THD yang ditimbulkan masih kecil, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengujian beban linier. karena gelombang yang dihasilkan masih menyerupai gelombang sinus fundamentalnya seperti yang terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.4 Bentuk Gelombang arus pada beban linier

Pada pengujian beban linier bentuk gelombang arus dari kedua percobaan hasilnya hampir sama dan membentuk gelombang yang sinusoidal oleh karena itu penulis hanya cukup memasukkan contoh gambar gelombang arus dari salah satu percobaan saja, dikarenakan harmonisa yang timbul masih sedikit sehingga arus yang timbul pun masih berbentuk sinus.

Untuk hasil pengukuran THDi beban linier dengan menggunakan alat *Pilot Power Monitoring Analyzer PMAC-770* dapat dilihat pada gambar 4.4. dan 4.5.



Gambar 4.5 Beban linier dengan THD 2,440%



Gambar 4.6 Beban linier dengan THD 2,098%

Untuk hasil pengukuran besaran-besaran listrik dan waktu pada alat ukur *Power Analyzer* Lutron DW-6092 dapat dilihat pada tabel 4.2. dan 4.3.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran besaran-besaran listrik saat beban linier dengan THDi 2,098

Time	V1	A1	Unit2	P1	Unit3	S1	Unit4	Q1	Unit5	PF1	PFH	
2:43:48	220.3	0	ACA	0	0	KW	0	0	0	KVAR	0	0.91
2:43:50	217.4	3.333	ACA	0.603	0.724	KW	0.724	0.724	-0.4	KVAR	0.83	0.91
2:43:52	216.7	3.558	ACA	0.77	0.771	KW	0.771	0.771	0	KVAR	1	0.91
2:43:54	217	3.561	ACA	0.772	0.772	KW	0.772	0.772	0	KVAR	1	0.91
2:43:56	217.5	3.566	ACA	0.775	0.775	KW	0.775	0.775	0	KVAR	1	0.92
2:43:58	217.2	3.565	ACA	0.774	0.774	KW	0.774	0.774	0	KVAR	1	0.92
2:44:00	217	3.563	ACA	0.772	0.773	KW	0.773	0.773	0	KVAR	1	0.92
2:44:02	218	3.574	ACA	0.778	0.778	KW	0.778	0.778	0	KVAR	1	0.92
2:44:04	217.4	3.565	ACA	0.774	0.774	KW	0.774	0.774	0	KVAR	1	0.92
2:44:06	216.6	3.556	ACA	0.77	0.77	KW	0.77	0.77	0	KVAR	1	0.92
2:44:08	217.2	3.56	ACA	0.772	0.773	KW	0.773	0.773	0	KVAR	1	0.92
2:44:10	217.6	3.564	ACA	0.775	0.775	KW	0.775	0.775	0	KVAR	1	0.92
2:44:12	217.5	3.559	ACA	0.774	0.774	KW	0.774	0.774	0	KVAR	1	0.92
2:44:14	217	3.554	ACA	0.77	0.771	KW	0.771	0.771	0	KVAR	1	0.92
2:44:16	217.4	3.558	ACA	0.773	0.773	KW	0.773	0.773	0	KVAR	1	0.92
2:44:18	217.9	3.558	ACA	0.775	0.775	KW	0.775	0.775	0	KVAR	1	0.92
2:44:20	217.1	3.549	ACA	0.77	0.77	KW	0.77	0.77	0	KVAR	1	0.92
2:44:22	217	3.547	ACA	0.769	0.769	KW	0.769	0.769	0	KVAR	1	0.92
2:44:24	217.2	3.545	ACA	0.769	0.769	KW	0.769	0.769	0	KVAR	1	0.92
2:44:26	218	3.553	ACA	0.774	0.774	KW	0.774	0.774	0	KVAR	1	0.92
2:44:28	216.9	3.538	ACA	0.767	0.767	KW	0.767	0.767	0	KVAR	1	0.92
2:44:30	217.3	3.545	ACA	0.77	0.77	KW	0.77	0.77	0	KVAR	1	0.92
2:44:32	217.3	3.539	ACA	0.768	0.768	KW	0.768	0.768	0	KVAR	1	0.92
2:44:34	217.3	3.541	ACA	0.769	0.769	KW	0.769	0.769	0	KVAR	1	0.92
2:44:36	217.3	3.54	ACA	0.769	0.769	KW	0.769	0.769	0	KVAR	1	0.92
2:44:38	217.1	3.534	ACA	0.766	0.767	KW	0.767	0.767	0	KVAR	1	0.92
2:44:40	217.6	3.537	ACA	0.769	0.769	KW	0.769	0.769	0	KVAR	1	0.92
2:44:42	217.2	3.529	ACA	0.766	0.766	KW	0.766	0.766	0	KVAR	1	0.92
2:44:44	217.5	3.535	ACA	0.768	0.768	KW	0.768	0.768	0	KVAR	1	0.92
2:44:46	217.3	3.525	ACA	0.765	0.765	KW	0.765	0.765	0	KVAR	1	0.92
2:44:48	217.6	3.53	ACA	0.767	0.767	KW	0.767	0.767	0	KVAR	1	0.92
2:44:50	217.4	3.523	ACA	0.765	0.765	KW	0.765	0.765	0	KVAR	1	0.91
2:44:52	217.6	3.523	ACA	0.765	0.766	KW	0.766	0.766	0	KVAR	1	0.92
2:44:54	217.2	3.517	ACA	0.763	0.763	KW	0.763	0.763	0	KVAR	1	0.92
2:44:56	217.5	3.517	ACA	0.764	0.764	KW	0.764	0.764	0	KVAR	1	0.92
2:44:58	217.8	3.516	ACA	0.765	0.765	KW	0.765	0.765	0	KVAR	1	0.92
2:45:00	218.3	3.255	ACA	0.656	0.71	KW	0.71	0.71	0.27	KVAR	0.92	0.91
2:45:02	220.3	0	ACA	0	0	KW	0	0	0	KVAR	0	0.91

Tabel 4.3. Hasil pengukuran besaran-besaran listrik saat beban linier dengan THDi 2,440%

Time	V1	A1	P1	Unit	S1	Unit2	Q1	Unit3	PF1	PFH	
15:52:20	229.4	0	0	KW		0	KVA	0	KVAR	0	0.98
15:52:22	229.4	0	0	KW		0	KVA	0	KVAR	0	0.98
15:52:24	228.9	0	0	KW		0	KVA	0	KVAR	0	0.98
15:52:26	228.8	2.501	0.269	KW		0.572	KVA	0.503	KVAR	1	0.98
15:52:28	226.8	3.623	0.821	KW		0.821	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:52:30	227	3.632	0.824	KW		0.824	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:52:32	226.7	3.628	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.97
15:52:34	226.8	3.633	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.97
15:52:36	226.6	3.629	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.97
15:52:38	226.7	3.629	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:52:40	227	3.636	0.825	KW		0.825	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:52:42	226.9	3.634	0.824	KW		0.824	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:52:44	227.3	3.636	0.826	KW		0.826	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:52:46	226.9	3.631	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:52:48	227.3	3.636	0.826	KW		0.826	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:52:50	227.2	3.635	0.825	KW		0.825	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:52:52	226.9	3.631	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:52:54	227.1	3.634	0.824	KW		0.824	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:52:56	226.7	3.629	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:52:58	226.9	3.629	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:53:00	227.3	3.634	0.825	KW		0.825	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:53:02	226.8	3.628	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:53:04	227.1	3.63	0.823	KW		0.824	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:53:06	227.1	3.628	0.823	KW		0.824	KVA	0	KVAR	1	0.99
15:53:08	227.1	3.627	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:53:10	227.4	3.633	0.825	KW		0.825	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:53:12	227.2	3.626	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:53:14	227.2	3.626	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:53:16	227.5	3.629	0.825	KW		0.825	KVA	0	KVAR	1	0.98
15:53:18	227.2	3.621	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:53:20	227.1	3.623	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.96
15:53:22	227.4	3.624	0.823	KW		0.823	KVA	0	KVAR	1	0.97
15:53:24	227.3	3.619	0.822	KW		0.822	KVA	0	KVAR	1	0.97
15:53:26	227.1	3.616	0.82	KW		0.82	KVA	0	KVAR	1	0.97
15:53:28	230.1	0	0	KW		0	KVA	0	KVAR	0	0.97

4.5.1 Perhitungan Arus Fundamental dan Total Arus Harmonisa Pada Beban Linier

Berdasarkan rumus persamaan (2-19) maka dapat dicari nilai arus fundamentalnya pada pengujian beban linier.

- a. Kenaikan total arus harmonisa pada beban linier dengan THDi 2,098%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_I^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,558^2}{(0,02^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,557A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms} - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,001A$$

- b. Kenaikan total arus harmonisa pada beban linier dengan THDi 2,440%

$$THDi = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THDi^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,620^2}{(0,02^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,619A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms} - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,001A$$

Terlihat pada hasil perhitungan diatas bahwa total arus harmonisa pada beban lampu pijar masih sangat kecil sehingga dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengujian beban linier.

4.6 Data Hasil Pengujian Beban Non Linier

Hasil pengujian dengan menggunakan beban non linier berupa dimmer yang dihubungkan dengan lampu pijar agar mendapatkan variasi besaran harmonisa, yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

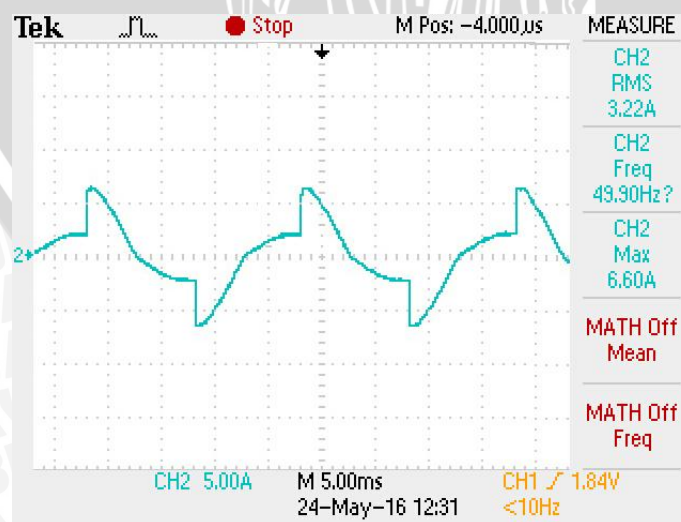
Tabel 4.4. Hasil pengujian dengan beban non linier

Jumlah Beban	Arus true rms (A)	THDi (%)	Waktu Trip MCB (detik)
8 lp (2 buah dimmer)	3,622	21,008	53
8 lp (2 buah dimmer) dan 2 lhe	3,652	27,415	52
8 lp (2 buah dimmer) dan 3 lhe	3,658	35,206	43
8 lp (2 buah dimmer) dan 4 lhe	3,708	40,713	39

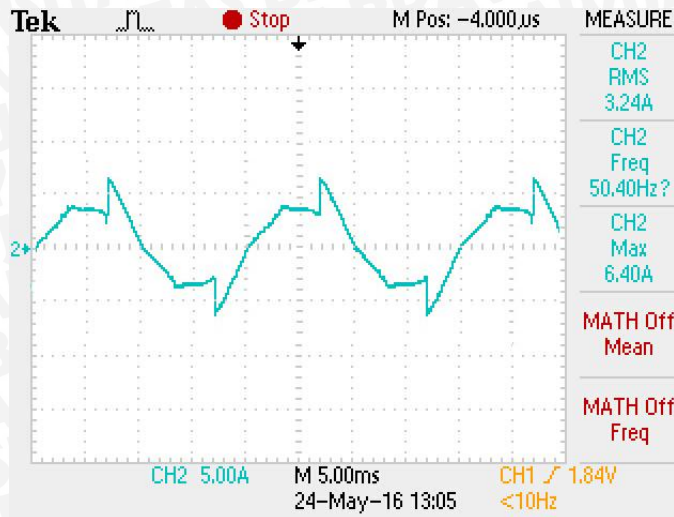
Keterangan :

- lp = lampu pijar
- lhe = lampu hemat energi

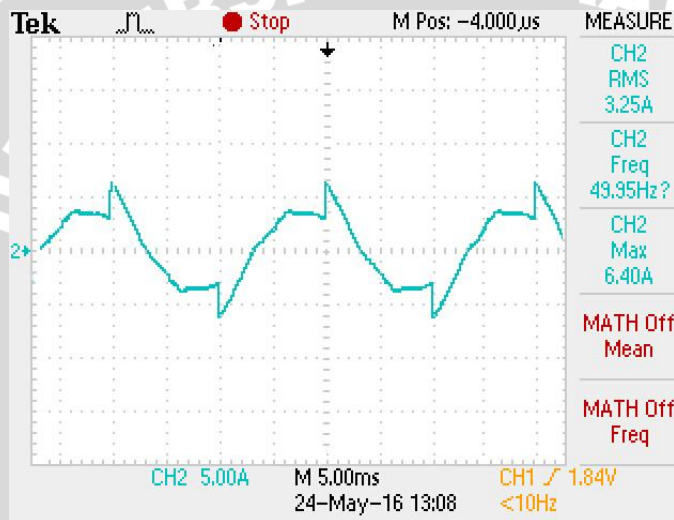
Dilihat pada hasil pengujian penggunaan dimmer pada beban dapat menimbulkan arus harmonisa, semakin kecil sudut penyalaan pada dimmer maka harmonisa yang timbul akan semakin besar. agar mendapatkan harmonisa yang lebih besar maka diperlukan tambahan beban harmonisa yang lain berupa beberapa buah lampu hemat energi yang dipasang paralel. semakin banyak beban harmonisa yang digunakan maka semakin besar pula harmonisa yang akan timbul. karena adanya arus harmonisa yang besar maka bentuk gelombang arus pada sistem tidak berbentuk sinusoidal lagi, seperti yang terlihat pada gambar 4.6. sampai 4.9.



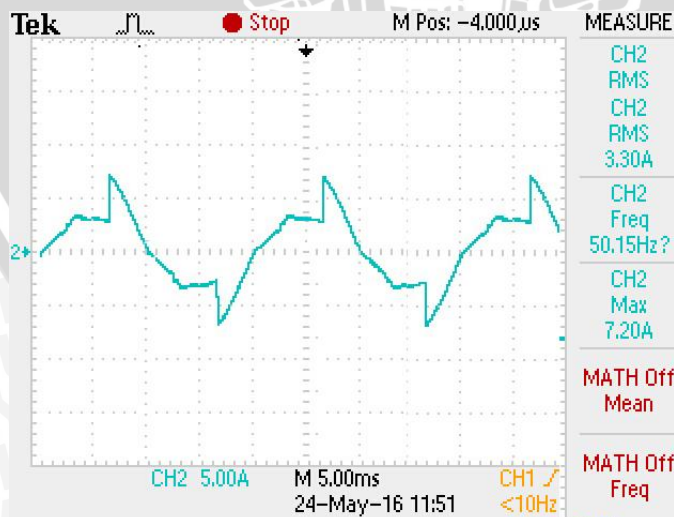
Gambar 4.7 Bentuk Gelombang arus pada beban non linier dengan THDi 21,008%



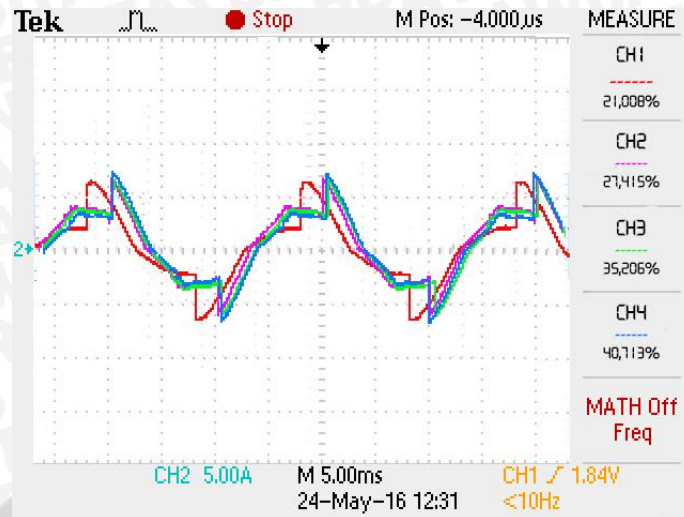
Gambar 4.8 Bentuk Gelombang arus pada beban non linier dengan THDi 27,415%



Gambar 4.9 Bentuk Gelombang arus pada beban non linier dengan THDi 35,206%



Gambar 4.10 Bentuk Gelombang arus pada beban non linier dengan THDi 40,713%



Gambar 4.11 Perbandingan Bentuk Gelombang arus pada pengujian beban non linier

Terlihat hasil gambar 4.11 bentuk gelombang arus pada alat osiloskop bahwa bentuk gelombang arus tidak sinusoidal lagi dikarenakan adanya harmonisa. semakin besar nilai arus harmonisa atau THDi maka bentuk gelombang semakin jauh berbeda dari bentuk gelombang fundamentalnya. Untuk hasil pengukuran THDi beban non linier dengan menggunakan alat Pilot Power Monitoring Analyzer PMAC-770 dapat dilihat pada gambar 4.12. sampai 4.15.



Gambar 4.12. THDi 21,008%



Gambar 4.13 THDi 27,415%



Gambar 4.14 THDi 35,206%



Gambar 4.15 THDi 40,713%

Untuk hasil pengukuran besaran-besaran listrik dan waktu pada alat ukur *Power Analyzer* Lutron DW-6092 dapat dilihat pada tabel 4.5. sampai 4.8.

Tabel 4.5. Hasil pengukuran besaran-besaran listrik saat beban non linier dengan THDi

21,008%

Time	V1	Unit	A1	Unit2	P1	Unit3	S1	Unit4	Q1	Unit5	PF1	Unit6	PFH
1:01:50	230.2	ACV		0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0	0.89
1:01:52	227.6	ACV	3.521	ACA	0.646	KW	0.801	KVA	0.471	KVAR	0.81		0.89
1:01:54	227.2	ACV	3.618	ACA	0.746	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.92
1:01:56	227.3	ACV	3.621	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:01:58	227.2	ACV	3.622	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.92
1:02:00	227.2	ACV	3.622	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:02	227.1	ACV	3.622	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:04	227.8	ACV	3.632	ACA	0.751	KW	0.827	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.92
1:02:06	227	ACV	3.62	ACA	0.747	KW	0.821	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.89
1:02:08	227.3	ACV	3.624	ACA	0.748	KW	0.823	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:10	227.3	ACV	3.621	ACA	0.747	KW	0.823	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.89
1:02:12	227.3	ACV	3.619	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.89
1:02:14	227.6	ACV	3.63	ACA	0.75	KW	0.826	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.9
1:02:16	227.4	ACV	3.618	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.89
1:02:18	227.4	ACV	3.612	ACA	0.746	KW	0.821	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:20	227.5	ACV	3.614	ACA	0.746	KW	0.821	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:22	227.5	ACV	3.614	ACA	0.746	KW	0.822	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:24	227.4	ACV	3.609	ACA	0.745	KW	0.82	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.91
1:02:26	227.3	ACV	3.607	ACA	0.744	KW	0.819	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.9
1:02:28	227.2	ACV	3.61	ACA	0.745	KW	0.82	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.91
1:02:30	227.2	ACV	3.609	ACA	0.744	KW	0.819	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.9
1:02:32	227.5	ACV	3.611	ACA	0.746	KW	0.821	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
1:02:34	227.5	ACV	3.606	ACA	0.745	KW	0.82	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.91
1:02:36	227.4	ACV	3.597	ACA	0.742	KW	0.817	KVA	0.34	KVAR	0.91		0.9
1:02:38	227.3	ACV	3.599	ACA	0.743	KW	0.817	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.9
1:02:40	226.8	ACV	3.6	ACA	0.741	KW	0.816	KVA	0.34	KVAR	0.91		0.91
1:02:42	226.8	ACV	3.599	ACA	0.741	KW	0.816	KVA	0.34	KVAR	0.91		0.89
1:02:44	226.7	ACV	3.596	ACA	0.74	KW	0.815	KVA	0.339	KVAR	0.91		0.89
1:02:46	228.8	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.89

Tabel 4.6. Hasil pengukuran besaran-besaran listrik saat beban non linier dengan THDi

27,415%

Time	V1	Unit	A1	Unit2	P1	Unit3	S1	Unit4	Q1	Unit5	PF1	Unit6	PFH
0:49:45	227.8	ACV		0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0	0
0:49:47	225.3	ACV	3.649	ACA	0.747	KW	0.822	KVA	0.343	KVAR	0.91		0
0:49:49	225.4	ACV	3.652	ACA	0.75	KW	0.826	KVA	0.344	KVAR	0.91		0
0:49:51	225.2	ACV	3.668	ACA	0.75	KW	0.825	KVA	0.344	KVAR	0.91		0
0:49:53	225.2	ACV	3.667	ACA	0.75	KW	0.825	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.9
0:49:55	225.3	ACV	3.671	ACA	0.751	KW	0.826	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.9
0:49:57	225.3	ACV	3.671	ACA	0.751	KW	0.826	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.9
0:49:59	225.1	ACV	3.667	ACA	0.749	KW	0.825	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.9
0:50:01	225	ACV	3.667	ACA	0.749	KW	0.825	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.9
0:50:03	225.3	ACV	3.677	ACA	0.752	KW	0.828	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.9
0:50:05	225.2	ACV	3.673	ACA	0.751	KW	0.827	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.9
0:50:07	225	ACV	3.667	ACA	0.749	KW	0.824	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
0:50:09	225	ACV	3.665	ACA	0.749	KW	0.824	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
0:50:11	225.1	ACV	3.667	ACA	0.75	KW	0.825	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.9
0:50:13	225.2	ACV	3.673	ACA	0.751	KW	0.827	KVA	0.344	KVAR	0.91		0.77
0:50:15	225	ACV	3.663	ACA	0.748	KW	0.824	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.77
0:50:17	225.2	ACV	3.664	ACA	0.749	KW	0.825	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.77
0:50:19	225.1	ACV	3.659	ACA	0.748	KW	0.823	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.79
0:50:21	224.8	ACV	3.652	ACA	0.745	KW	0.82	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.79
0:50:23	224.7	ACV	3.647	ACA	0.744	KW	0.819	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.9
0:50:25	224.9	ACV	3.65	ACA	0.745	KW	0.82	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.9
0:50:27	225.2	ACV	3.657	ACA	0.748	KW	0.823	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.9
0:50:29	225.3	ACV	3.658	ACA	0.748	KW	0.824	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.9
0:50:31	225.2	ACV	3.655	ACA	0.747	KW	0.823	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
0:50:33	225.3	ACV	3.655	ACA	0.748	KW	0.823	KVA	0.343	KVAR	0.91		0.9
0:50:35	225.1	ACV	3.649	ACA	0.746	KW	0.821	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
0:50:37	225.1	ACV	3.645	ACA	0.744	KW	0.82	KVA	0.342	KVAR	0.91		0.9
0:50:39	225.1	ACV	3.646	ACA	0.745	KW	0.82	KVA	0.341	KVAR	0.91		0.9
0:50:41	227.7	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.9

Tabel 4.7. Hasil pengukuran besaran-besaran listrik saat beban non linier dengan THDi

35,206%

Time	V1	Unit	A1	Unit2	P1	Unit3	S1	Unit4	Q1	Unit5	PF1	Unit6	PFH
1:35:40	223.5	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.88
1:35:42	223.4	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.88
1:35:44	223.1	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.88
1:35:46	223.4	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.88
1:35:48	220.6	ACV	3.658	ACA	0.696	KW	0.801	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.88
1:35:50	220.7	ACV	3.653	ACA	0.697	KW	0.802	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.88
1:35:52	220.8	ACV	3.633	ACA	0.697	KW	0.802	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.88
1:35:54	220.6	ACV	3.642	ACA	0.698	KW	0.803	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.88
1:35:56	220.9	ACV	3.643	ACA	0.699	KW	0.804	KVA	0.396	KVAR	0.87		0.88
1:35:58	220.6	ACV	3.631	ACA	0.696	KW	0.801	KVA	0.394	KVAR	0.87		0.88
1:36:00	220.9	ACV	3.65	ACA	0.701	KW	0.806	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.88
1:36:02	221	ACV	3.645	ACA	0.7	KW	0.805	KVA	0.396	KVAR	0.87		0.87
1:36:04	220.7	ACV	3.649	ACA	0.7	KW	0.805	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.87
1:36:06	220.9	ACV	3.643	ACA	0.699	KW	0.804	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.86
1:36:08	220.6	ACV	3.637	ACA	0.698	KW	0.802	KVA	0.394	KVAR	0.87		0.87
1:36:10	220.9	ACV	3.644	ACA	0.7	KW	0.805	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.87
1:36:12	220.7	ACV	3.633	ACA	0.697	KW	0.801	KVA	0.394	KVAR	0.87		0.86
1:36:14	220.7	ACV	3.641	ACA	0.698	KW	0.803	KVA	0.394	KVAR	0.87		0.88
1:36:16	221.1	ACV	3.641	ACA	0.7	KW	0.804	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.87
1:36:18	220.7	ACV	3.639	ACA	0.698	KW	0.803	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.87
1:36:20	221.2	ACV	3.646	ACA	0.701	KW	0.806	KVA	0.396	KVAR	0.87		0.87
1:36:22	220.9	ACV	3.634	ACA	0.698	KW	0.802	KVA	0.395	KVAR	0.87		0.88
1:36:24	220.5	ACV	3.633	ACA	0.696	KW	0.8	KVA	0.394	KVAR	0.87		0.88
1:36:26	219.8	ACV	4.805	ACA	1.02	KW	1.056	KVA	0.272	KVAR	0.97		0.88
1:36:28	219	ACV	5.249	ACA	1.149	KW	1.149	KVA	0	KVAR	1		0.88
1:36:30	218.9	ACV	5.246	ACA	1.148	KW	1.148	KVA	0	KVAR	1		0.88
1:36:32	223.3	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.88

Tabel 4.8. Hasil pengukuran besaran-besaran listrik saat beban non linier dengan THDi

40,713%

Time	V1	Unit	A1	Unit2	P1	Unit3	S1	Unit4	Q1	Unit5	PF1	Unit6	PFH
051:35	228.2	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.9
051:37	226	ACV	3.708	ACA	0.703	KW	0.837	KVA	0.453	KVAR	0.84		0.9
051:39	225.9	ACV	3.703	ACA	0.758	KW	0.836	KVA	0.351	KVAR	0.91		0.93
051:41	226.1	ACV	3.708	ACA	0.76	KW	0.838	KVA	0.352	KVAR	0.91		0.93
051:43	226.3	ACV	3.394	ACA	0.701	KW	0.767	KVA	0.311	KVAR	0.91		0.85
051:45	226.3	ACV	3.376	ACA	0.698	KW	0.763	KVA	0.308	KVAR	0.91		0.93
051:47	226.6	ACV	3.38	ACA	0.7	KW	0.765	KVA	0.309	KVAR	0.91		0.93
051:49	226.8	ACV	2.652	ACA	0.509	KW	0.601	KVA	0.317	KVAR	0.85		0.87
051:51	227.2	ACV	2.66	ACA	0.512	KW	0.604	KVA	0.319	KVAR	0.85		0.87
051:53	226.6	ACV	3.083	ACA	0.591	KW	0.698	KVA	0.37	KVAR	0.85		0.94
051:55	227	ACV	3.135	ACA	0.603	KW	0.711	KVA	0.376	KVAR	0.85		0.88
051:57	226.4	ACV	3.506	ACA	0.684	KW	0.793	KVA	0.401	KVAR	0.86		0.88
051:59	226.3	ACV	3.512	ACA	0.685	KW	0.794	KVA	0.401	KVAR	0.86		0.88
052:01	226.3	ACV	3.5	ACA	0.682	KW	0.791	KVA	0.4	KVAR	0.86		0.88
052:03	226.4	ACV	3.513	ACA	0.685	KW	0.795	KVA	0.401	KVAR	0.86		0.88
052:05	226.1	ACV	3.499	ACA	0.681	KW	0.791	KVA	0.4	KVAR	0.86		0.89
052:07	226.4	ACV	3.512	ACA	0.684	KW	0.794	KVA	0.402	KVAR	0.86		0.89
052:09	226.4	ACV	3.496	ACA	0.681	KW	0.791	KVA	0.401	KVAR	0.86		0.84
052:11	227	ACV	3.043	ACA	0.583	KW	0.69	KVA	0.368	KVAR	0.99		0.84
052:13	227.1	ACV	1.63	ACA	0.366	KW	0.369	KVA	0.046	KVAR	0.99		0.84
052:15	227.5	ACV	1.627	ACA	0.366	KW	0.369	KVA	0.046	KVAR	0.99		0.89
052:17	228.9	ACV	0	ACA	0	KW	0	KVA	0	KVAR	0		0.89

4.6.1 Analisis Pengaruh Harmonisa Pada Miniature Circuit Breaker (MCB)

Dalam menganalisis pengaruh harmonisa dilakukan Analisis perhitungan Arus fundamentalnya dan total arus harmonisa. Berdasarkan rumus persamaan 2.19 maka dapat

dicari nilai arus fundamental dan arus total harmonisa pada setiap beban beban nonlinier berupa dimmer yang dihubungkan dengan lampu pijar. Berikut perhitungan secara teori.

4.6.2 Perhitungan Arus fundamental dan Total Arus Harmonisa Pada Beban Non Linier

a. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 21,008%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,622^2}{(0,21^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,544A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms} - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,078A$$

b. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 27,415%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,652^2}{(0,27^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,525A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms} - I_1$$

Total Arus Harmonisa = 0,127A

- c. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 35,206%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,658^2}{(0,35^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,452A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms} - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,206A$$

- d. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 40,713%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,708^2}{(0,40^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,442A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms} - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,266A$$

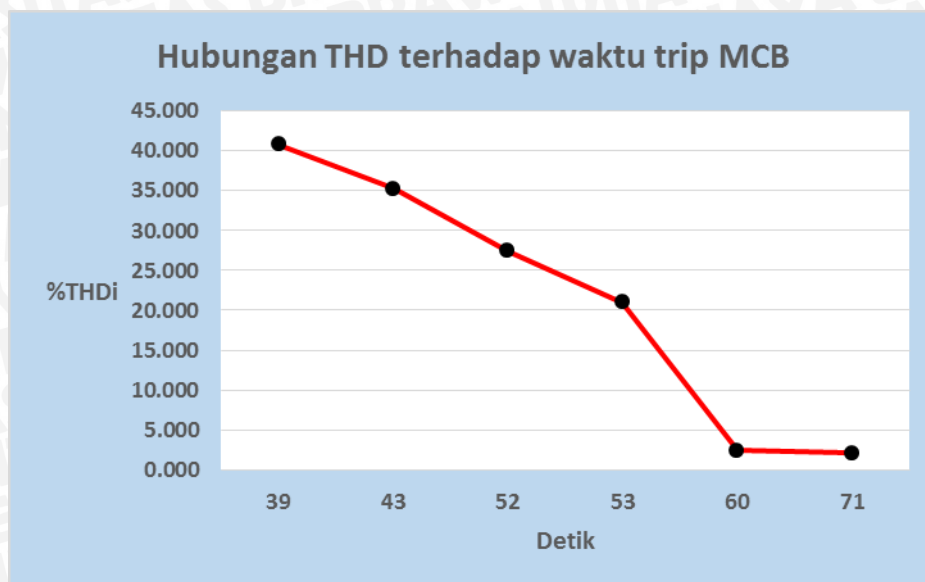
Dengan perhitungan diatas, hasil nilai arus fundamental dan total arus harmonisa tiap beban nonlinier ditunjukkan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan arus fundamental, total arus harmonisa dengan THDi dan waktu trip

THDi (%)	Arus rms fundamental (A)	Arus total harmonisa (A)	Arus true rms (A)	Waktu trip (detik)
2,098	3,557	0,001	3,558	71
2,440	3,617	0,001	3,618	60
21,008	3,554	0,078	3,622	53
27,415	3,525	0,127	3,652	52
35,206	3,452	0,206	3,658	43
40,713	3,442	0,266	3,708	39

Berdasarkan dari refrensi buku Sudaryatno Sudirham, bahwa suatu harmonisa dapat mempengaruhi pemutus rangkaian atau *circuit breaker*. Harmonisa dapat menyebabkan pemutus rangkaian ini tidak dapat bekerja secara benar yang disebabkan oleh bimetal yang bekerja sebagai pemutus ketika diberi beban lebih, disaat beban pada sistem tersebut mengandung harmonisa maka waktu pemutusan pada MCB akan lebih cepat dibandingkan dengan keadaan normalnya atau ketika beban tanpa harmonik itu disebabkan oleh karakteristik MCB (bimetal) akan melakukan proses pemutusan atau trip jika di beri beban lebih atau arus beban yang melebihi arus rating pada MCB tersebut. semakin besar arus yang melebihi rating pada MCB maka waktu trip akan semakin cepat.

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa semakin besar THDi atau harmonisanya maka waktu trip atau pemutusan akan semakin cepat. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.9. atau pada gambar grafik hubungan THDi terhadap waktu trip pada MCB seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15.

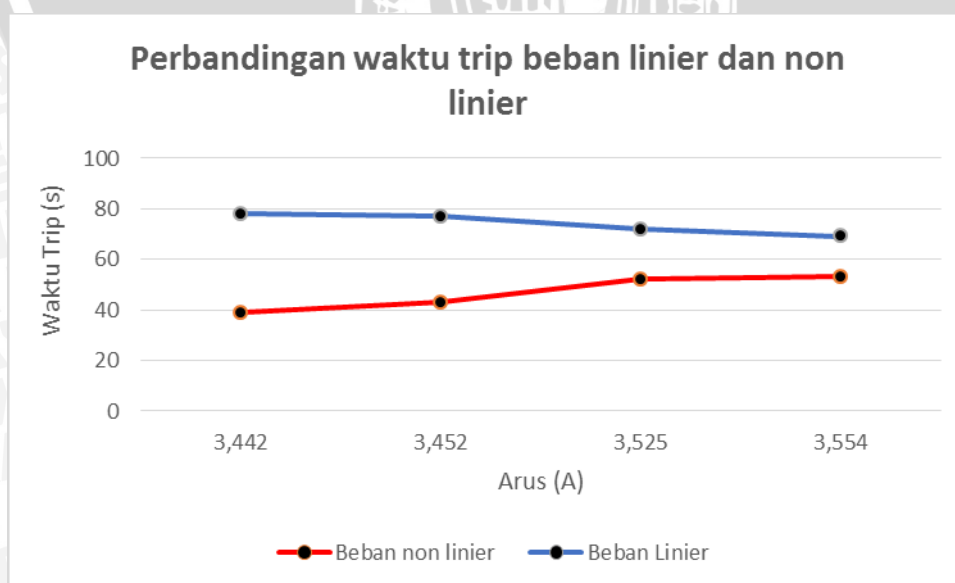


Gambar 4.16 Grafik Hubungan THDi terhadap waktu trip MCB

Terlihat pada gambar grafik 4.14. diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar THDi maka waktu trip atau pemutusan akan semakin cepat dikarenakan THDi semakin besar maka arus total harmonisa juga akan semakin besar, sehingga nilai arus true rms jauh lebih besar melewati batas rating arus pada MCB, hal ini yang membuat waktu trip menjadi berbeda dibandingkan saat keadaan normalnya atau ketika beban tanpa harmonisa.

4.7 Perbandingan waktu trip MCB ketika beban linier dan non linier

Pada Gambar 2.5 grafik karakteristik waktu trip MCB tipe B dengan standar SPLN3-1978 yang didapat dari pengujian beban linier atau tanpa harmonisa sehingga grafik waktu trip tersebut dapat dibandingkan dengan hasil dari pengujian ini berupa waktu trip yang dapat dari beban non linier atau mengandung harmonisa.



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan waktu trip ketika beban linier dan non linier

Terlihat pada gambar 4.17 dengan nilai arus yang sama waktu trip yang didapat berbeda karena pada beban non linier terdapat kandungan harmonisa yang membuat nilai arus true rmsnya meningkat sehingga membuat waktu trip MCB bekerja lebih cepat dari keadaan beban tanpa harmonisa atau ketika beban linier.

4.8 Karakteristik Energi Terhadap Kinerja MCB

Agar mengetahui karakteristik energi terhadap kerja MCB maka dilakukan analisis perhitungan energi secara teori sebagai berikut :

4.8.1 Analisis Energi ketika beban linier

- a. Beban linier dengan arus true rms 3,558A dan waktu trip 71s

$$E = P \cdot T$$

$$E = (I^2 R) \cdot T$$

$$E = (3,558^2 \cdot 0,5) \cdot T$$

$$E = 6,329 \cdot 71$$

$$E = 449,407 \text{ J}$$

- b. Beban linier dengan arus true rms 3,618 dan waktu trip 60s

$$E = P \cdot T$$

$$E = (I^2 R) \cdot T$$

$$E = (3,618^2 \cdot 0,5) \cdot T$$

$$E = 6,544 \cdot 60$$

$$E = 392,697 \text{ J}$$

4.8.2 Analisis Energi Ketika Beban NonLinier

- a. Beban non linier dengan arus true rms 3,622 dan waktu 53s

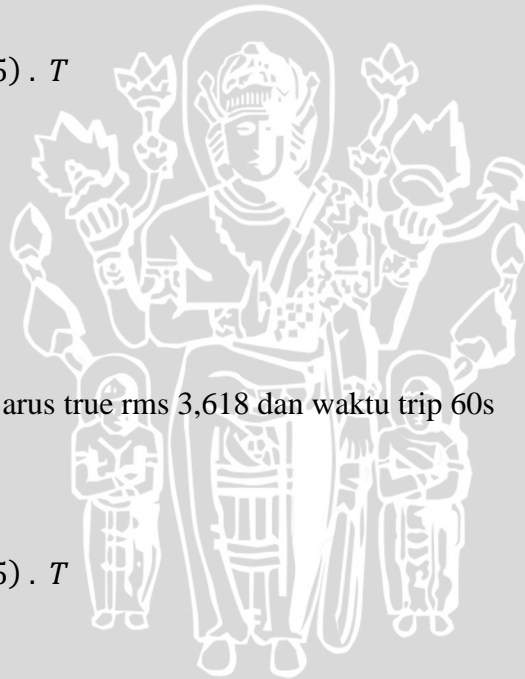
$$E = P \cdot T$$

$$E = (I^2 R) \cdot T$$

$$E = (3,622^2 \cdot 0,5) \cdot T$$

$$E = 6,559 \cdot 53$$

$$E = 347,627 \text{ J}$$



- b. Beban non linier dengan arus true rms 3,652 dan waktu trip 52s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,652^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,668. 52$$

$$E = 346,736 \text{ J}$$

- c. Beban non linier dengan arus true rms 3,658 dan waktu trip 43s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,658^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,690. 43$$

$$E = 287,670 \text{ J}$$

- d. Beban non linier dengan arus true rms 3,708 dan waktu trip 39s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,708^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,874. 39$$

$$E = 268,110 \text{ J}$$

Dilihat dari perhitungan diatas dari beban linier yang mempunyai nilai arus yang paling kecil sampai dengan beban non linier yang mempunyai nilai arus yang paling besar maka energi yang dibutuhkan semakin kecil, dikarenakan nilai waktu trip yang menurun secara drastis dari pada kenaikan nilai arusnya..



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pengambilan data yang telah dilakukan di Laboratorium Elektronika Daya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin banyak penggunaan beban yang mengandung harmonisa atau beban harmonisa maka kandungan besaran harmonisa pada sistem tersebut juga akan semakin besar terbukti saat dilakukan pengujian menggunakan beban dimmer yang dikombinasikan dengan lampu hemat energi maka nilai THDnya juga akan membesar.
2. Besar prosentase THDi atau besarnya kandungan harmonisa juga dapat mempengaruhi kenaikan total arus harmonisa terhadap arus fundamentalnya dikarenakan THDi semakin besar maka arus total harmonisa juga akan semakin besar, sehingga nilai arus true rms jauh lebih besar melewati batas rating arus pada MCB, hal ini yang membuat waktu trip menjadi berbeda dibandingkan saat keadaan normalnya atau ketika beban tanpa harmonisa.
3. Dari gambar grafik hubungan THDi terhadap waktu trip pada MCB terlihat bahwa semakin besar THDi maka waktu trip pada MCB juga akan semakin cepat dibandingkan dengan beban yang tanpa harmonisa atau beban linier.

5.2 Saran

Dari hasil penyelesaian penelitian ini ada pun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan MCB yang ratingnya lebih tinggi yang telah diaplikasikan secara langsung seperti contohnya pada pabrik atau industri.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh harmonisa pada bahan yang lain seperti kawat penghantar atau kabel penghubung.
3. Efek adanya harmonisa perlu diperhatikan dan dikaji lebih lanjut seperti pengaruhnya terhadap kualitas daya (*power quality*) pada sistem tenaga listrik.
4. Efek adanya harmonisa perlu diperhatikan dan dikaji lebih lanjut seperti pengaruhnya pada peralatan lain pada sistem tenaga listrik.



DAFTAR PUSTAKA

- Masri, Syafrudin. (2004). *Analisis Kualitas Daya Sistem Distribusi Perumahan Modern*. Volume 3 No.2.
- Hardi, Surya, Ir. Msc., *Harmonisa dan Pengaruhnya Pada Peralatan Sistem Distribusi*. SAINTEK ITM.NO 10 Tahun VI.
- Kusko, Alexander. 2007. *Power Quality in Electrical Systems*. New York.
- Arrillaga, Jos & Naville, R Watson. 2004. *Power System Harmonics*, second edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- C. Sankaran. 2002. *Power Quality*. Boca Raton: CRC Press LLC
- D. Rohi, D.D. Utomo & P. Ontoseno. 2008. *Evaluasi Harmonisa di Sisi Konsumen sektor Domestik yang menggunakan Daya 250 VA ≤ daya ≤ 2200 V*. Proceedings EECCIS, pp. A-8-11, Jun 2008.
- Dugan, Roger C & Mc Granaghan, Mark F. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill: *Digital Engineering Library*. [www.digitalengineeringlibrary.com]
- IEEE Std 519-1992. *Recommended Practice and Requirement For Harmonic Control In Electric Power System*.
- J. J. Burke. 1994. *Power Distribution Engineering-Fundamentals and Applications*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Margunadi, A R. 1994. *Dasar-dasar Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Y. H. Yan, C. S. Chen. 1994. *Harmonic Analysis for Industrial Customers*. IEEE Vol.30, No. 2.
- Sudirham, Sudaryatno. 2010. *Analisis Rangkaian Listrik Jilid 3*. Bandung: ITB



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN





Lampiran 1

1. Perhitungan Arus Fundamental dan Total Arus Harmonisa Pada Beban Linier

Berdasarkan rumus persamaan (2-19) maka dapat dicari nilai arus fundamentalnya pada pengujian beban linier.

- a. Kenaikan total arus harmonisa pada beban linier dengan THDi 2,098%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_I^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THD_I^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,558^2}{(0,02^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,557A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,001A$$

- b. Kenaikan total arus harmonisa pada beban linier dengan THDi 2,440%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_I^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THD_I^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,620^2}{(0,02^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,619A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms}^2 - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,001A$$

2. Perhitungan Arus fundamental dan Total Arus Harmonisa Pada Beban Nonlinier

- c. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 21,008%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,622^2}{(0,21^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,544A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms}^2 - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,078A$$

- d. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 27,415%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,652^2}{(0,27^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,525A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms}^2 - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,127A$$

- e. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 35,206%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,650^2}{(0,35^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,445A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms}^2 - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,205A$$

- f. Kenaikan total arus harmonisa pada beban non linier dengan THDi 40,713%

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_1^2}{I_1^2}}$$

$$I_1^2 \times THD_I^2 = I_{rms}^2 - I_1^2$$

$$I_1^2 = \frac{I_{rms}^2}{(THD_i^2 + 1)}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{(THDi^2 + 1)}}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{3,708^2}{(0,40^2 + 1)}}$$

$$I_1 = 3,442A$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = I_{rms}^2 - I_1$$

$$\text{Total Arus Harmonisa} = 0,266A$$

3. Perhitungan Energi Ketika Beban Linier

- a. Beban linier dengan arus true rms 3,558A dan waktu trip 71s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,558^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,329. 71$$

$$E = 449,407 \text{ J}$$

- c. Beban linier dengan arus true rms 3,618 dan waktu trip 60s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,618^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,544. 60$$

$$E = 392,697 \text{ J}$$

4. Perhitungan Energi Ketika Beban Nonlinier

- a. Beban non linier dengan arus true rms 3,622 dan waktu 53s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,622^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,559. 53$$

$$E = 347,627 \text{ J}$$

- e. Beban non linier dengan arus true rms 3,652 dan waktu trip 52s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,652^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,668. 52$$

$$E = 346,736 \text{ J}$$

- f. Beban non linier dengan arus true rms 3,658 dan waktu trip 43s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,658^2 . 0,5) . T$$

$$E = 6,690. 43$$

$$E = 287,670 \text{ J}$$

- g. Beban non linier dengan arus true rms 3,708 dan waktu trip 39s

$$E = P.T$$

$$E = (I^2R) . T$$

$$E = (3,708^2 \cdot 0,5) \cdot T$$

$$E = 6,874 \cdot 39$$

$$E = 268,110 \text{ J}$$

Lampiran 2

foto pengujian dan pengambilan data

