



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penanggulangan Arus Harmonisa Plts On Grid Menggunakan Filter Pasif *Single Tuned*

Raihan Amin Syibramulis, Isdawimah, Kusnadi
Politeknik Negeri Jakarta
raihan.aminsyibramulis.te20@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Arus harmonisa pada instalasi PLTS *On Grid* tiga fasa bisa muncul akibat penggunaan beban-beban non linear, seperti peralatan semi konduktor, Inverter dan lampu elektronik yang terhubung ke sistem instalasi. Adanya arus harmonik yang melebihi nilai standar akan berpengaruh terhadap kinerja dari sistem distribusi berupa rugi-rugi pada konduktor kabel, temperatur transformator naik, dan sebagainya. Nilai standar arus harmonik juga telah ditentukan dalam IEEE No.519 Tahun 2014 serta SPLN-D5.004 Tahun 2012. Untuk mengurangi nilai arus harmonisa yang dihasilkan pada instalasi PLTS *On Grid* tiga fasa 30 kWp perlu di buat rancangan Filter Pasif Harmonisa *Single Tuned* dengan metode perhitungan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan menggunakan Filter Pasif *Single Tuned* dapat mengurangi arus harmonisa dari IHDi awal yaitu 22,83 % menjadi 0,18 % harmonisa orde ke-5, hasil penurunan dari pemasangan filter harmonisa tersebut adalah 99,35 %, namun dari pembuktian pemasangan rancangan filter harmonisa atau validasi alat dengan hasil IHDi turun dari 14 % menjadi 5,5 % artinya penurunan harmonisa hanya sebesar 61,7 %.

Kata kunci : *Arus harmonisa, PLTS On Grid, Filter Pasif (Single Tuned), ETAP 12.6.*

ABSTRACT

Harmonic currents in three-phase PLTS On Grid installations can arise due to the use of non-linear loads, such as semi-conductor equipment, inverters and electronic lights connected to the installation system. The presence of harmonic currents that exceed the standard values will affect the performance of the distribution system in the form of losses in the cable conductors, the transformer temperature rises, and so on. The standard value for harmonic currents has also been determined in IEEE Standart No. 519 of 2014 and SPLN-D5.004 of 2012.

To reduce the value of the harmonic currents generated in the 30 kWp three-phase PLTS On Grid installation, it is necessary to design a Single Tuned Harmonic Passive Filter with the calculation method. The calculation results show that using a Single Tuned Passive Filter can reduce the harmonic current from the initial IHDi which is 22.83% to 0.18% of the 5th order harmonics, the result of the decrease from the installation of the harmonic filter is 99.35%, but from the proof of the installation harmonic filter design or tool validation with IHDi results down from 14% to 5.5%, meaning that the harmonics decrease is only 61.7%.

Key words : *Harmonic current, PLTS On Grid, Passive Filter (Single Tuned), ETAP 12.6.*



PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik tenaga surya bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Untuk hunian, pada dasarnya ada dua jenis instalasi panel surya yang bisa diterapkan, dimana masing-masing berkaitan dengan peralatan pendukung yang digunakan, yaitu *Off Grid* dan *On Grid*. Sistem *On Grid* (disebut juga *Grid Tie/ Grid Interactive*) [1], sesuai namanya, rangkaian sistem ini tetap terhubung dengan jaringan utama PLN/jala-jala dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi semaksimal mungkin.

Penggunaan modul PLTS *On Grid* menyebabkan munculnya masalah arus harmonik yang disebabkan oleh penggunaan komponen *inverter* karena sebagian besar terdiri dari komponen elektronika daya. Adanya arus harmonik yang melebihi nilai standar akan berpengaruh terhadap kinerja dari sistem distribusi berupa rugi-rugi pada konduktor kabel, temperature transformator naik, dan sebagainya [2]–[6],

Untuk mengatasi efek arus harmonik ini ada beberapa cara yang bisa diaplikasikan, yaitu bisa menggunakan Transformator Isolasi Satu Fasa atau menggunakan filter Harmonisa Aktif maupun Pasif [7]–[12]. Pada penelitian sebelumnya W. Sunanda and Y. A. Rahman, “Aplikasi Filter Pasif Sebagai Pereduksi Harmonik Pada Inverter Tiga Fase,” belum menggunakan perangkat lunak ETAP untuk merancang filter pasif harmonisa *single tuned*, sehingga penelitian mengenai watak harmonik pada inverter yang dibebani belum optimal dan hasil penelitian belum komprehensif mengenai watak harmonik pada inverter, lalu oleh Bambang Yan Ardianto “Proteksi Arus Harmonik Ke Jala-Jala Pada Instalasi PLTS *On Grid* Satu Fasa Dengan Beban Non Linear” [8], [10], pada penelitian tersebut beliau melakukan simulasi penggunaan transformator isolasi satu fasa serta simulasi rancangan filter harmonisa pasif satu fasa dengan menggunakan Aplikasi ETAP, ruang lingkup penelitian sebatas pada *PV Rooftop* dengan kapasitas 450 Wp satu Fasa saja, kemudian pada penelitian O. A. Rozak,

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

“Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0,” pengukuran beban menggunakan alat ukur Fluke *Power Logger* dalam pengambilan data agar memperhatikan detail dan jumlah data yang diambil [13], [14].

Pada penelitian yang akan kami buat adalah rancangan Filter Harmonisa Pasif (*Single Tuned*) tiga Fasa pada PLTS *On Grid* 30 kWp. Harapan dari hasil penelitian ini adalah rancangan Filter Harmonisa Pasif (*Single Tuned*) ini, dapat diaplikasikan pada instalasi jaringan kawasan PT PLN Pusdiklat untuk bisa menanggulangi dampak harmonisa pada peralatan jaringan kawasan tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

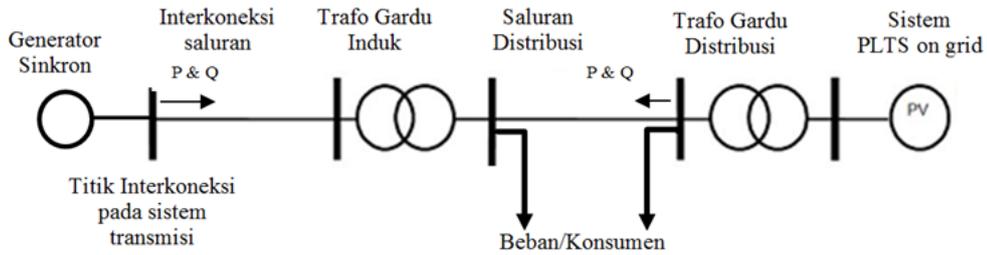
Sistem PLTS *On Grid*

PLTS *On Grid* adalah model pembangkit listrik yang terhubung langsung ke jaringan distribusi pada sisi pelanggan. PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik eksisting dapat dibedakan dari skala kapasitasnya yaitu skala kecil untuk kapasitas 5 kW – 100 kW, skala menengah 100 kW–500kW dan skala besar yaitu 500 kW – 10 MW [5]. Daya listrik DC yang dihasilkan dari panel surya dikonversikan menjadi daya AC melalui inverter. Inverter terhubung ke Transformator penaik tegangan yang terhubung ke grid atau jala-jala (sistem distribusi). Nilai beban yang terdapat pada inverter PLTS adalah daya beban pada grid (beban penyulang).

Sistem PLTS berbeda dari segi utilitas beserta karakteristiknya dengan pembangkit lainnya. Perbedaan paling mendasar adalah tidak adanya penggunaan peralatan yang sifatnya mekanis pada proses konversi energi matahari. Karena tidak adanya sistem mekanik, maka jenis operasional dan penanganannya juga berbeda. Penanganan yang paling utama adalah beberapa kondisi dinamis yaitu dimana intensitas radiasi dan suhu yang bersifat fluktuatif terhadap waktu. Gambar 1 ditampilkan model sistem PLTS *On Grid*.

Hak Cipta :

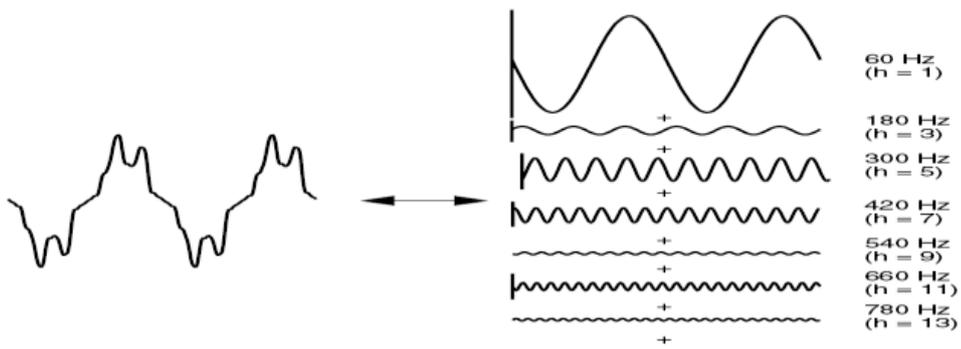
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1. Model Sistem Interkoneksi PLTS On Grid

Harmonisa

Harmonisa adalah cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya. Harmonik adalah salah satu dari sekian banyak permasalahan yang menyangkut kualitas daya listrik. Keberadaan harmonik ini sangat mengganggu bahkan merugikan sistem apabila melebihi batas standar yang ditetapkan, dalam hal ini standar yang digunakan adalah standar IEEE 519-1992. Pada gambar 2 akan diperlihatkan sebuah gelombang yang terdistorsi dan direpresentasikan dalam deret seri Fourier



Gambar 2. Gelombang Terdistorsi Direpresentasikan dalam Deret Fourier

Adapun batasan arus harmonisa yang dipekenankan pada standar IEEE 519-1992 adalah :

Tabel 1. Harmonic Individual IEEE Standard 519-1992

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Current Distortion Limits						
(120 V through 69 kV)						
Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
I_{sc}/I_L	Harmonic number (h)					
	h<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 to 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
51 to 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
101 to 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

Even Harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

I_{sc} = Maximum short circuit current at the bus.

I_L = Maximum demand load current of the fundamental frequency at the bus

Filter Harmonisa

Salah satu upaya untuk mereduksi harmonik yang muncul diakibatkan oleh beban non linier yang ada, dan salah satunya lampu hemat energi, adalah dengan menggunakan filter. Ada dua jenis filter yang dapat digunakan, yaitu filter aktif dan filter pasif. Namun jika dilihat dari tinjauan ekonomi, filter pasif relatif lebih murah jika dibandingkan dengan filter aktif. Filter pasif yang digunakan untuk mereduksi kandungan harmonik pada sistem terdiri dari kombinasi komponen R, L, dan C.

Berdasarkan karakteristiknya, filter pasif dapat dibedakan atas empat bagian yaitu: low-pass, high-pass, band-pass, dan tuned filter. Low-pass filter digunakan untuk mereduksi komponen harmonik di atas frekuensi yang di tentukan, high-pass filter digunakan untuk mereduksi komponen harmonik di bawah frekuensi yang ditentukan, dan band-pass filter digunakan untuk mereduksi komponen harmonik di atas dan di bawah frekuensi yang ditentukan, sehingga yang dilewatkan hanya frekuensi yang ditentukan saja. Band-pass merupakan kombinasi dari low-pass dan high-pass filter, sedangkan tuned filter digunakan untuk mereduksi komponen harmonik tertentu saja.

Tetapi dengan mengkombinasikan beberapa tuned filter, juga dapat digunakan untuk mengurangi beberapa komponen harmonik. Secara garis besar filter pasif dapat dipasang pada sistem secara seri dan paralel. Pada umumnya paling banyak digunakan adalah model single tuned filter karena lebih ekonomis dan dipasang secara paralel dengan sistem, dengan demikian arus harmonik dialihkan melalui filter tersebut



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Untuk mitigasi rancangan filter harmonisa sesuai dengan standart IEEE 1531-2003, dengan langkah langkah sebagai berikut :

1. Menentukan faktor daya awal (pf0) dan faktor daya yang diinginkan (pf1) dari beban non linier.

2. Menentukan kapasitas efektif daya reaktif filter.

$$Q_{eff} = S \times [\sin(\cos^{-1}pf_0) - \sin(\cos^{-1}pf_1)] \dots\dots\dots(1)$$

3. Menentukan frekuensi tuning filter.

Menurut IEEE 1531-2003 frekuensi filter Harmonik single-tuned ditentukan sebesar 3% - 15% dibawah frekuensi yang ditentukan sebagai faktor safety.

4. Menentukan impedansi efektif filter.

$$X_{eff} = V_{LLsys}^2 (kV) / Q_{eff} (kVar) \dots\dots\dots (2)$$

5. Menentukan reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif pada frekuensi fundamental.

$$X_{C(1)} = [h^2 / h^2 - 1] X_{eff} \dots\dots\dots(3)$$

$$X_{L(1)} = X_{C(1)} / h^2 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana : h = orde Harmonik yang ditune oleh filter.

6. Menentukan arus rms filter.

$$I_{f(1)} = V_s / [X_{C(1)} - X_{L(1)}] \dots\dots\dots(5)$$

7. Menentukan rating kapasitas daya reaktif kapasitor.

$$Q_{Crated} = (\sqrt{3} \cdot V_{Cpeak})^2 / X_{C(1)} \dots\dots\dots(6)$$

8. Menentukan arus nominal kapasitor

$$I_{nom} = Q_{Crated} (kVar) / \sqrt{3} \cdot V_{Cpeak} (kV) \dots\dots\dots(7)$$

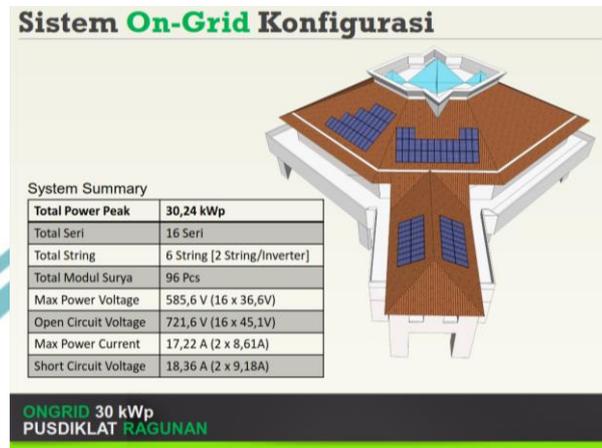
METODOLOGI PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian dilakukan pengambilan data pada PLTS *On Grid* 30 kWp yang berlokasi di Gedung Graha Corpu PT PLN (Persero) Pusdiklat

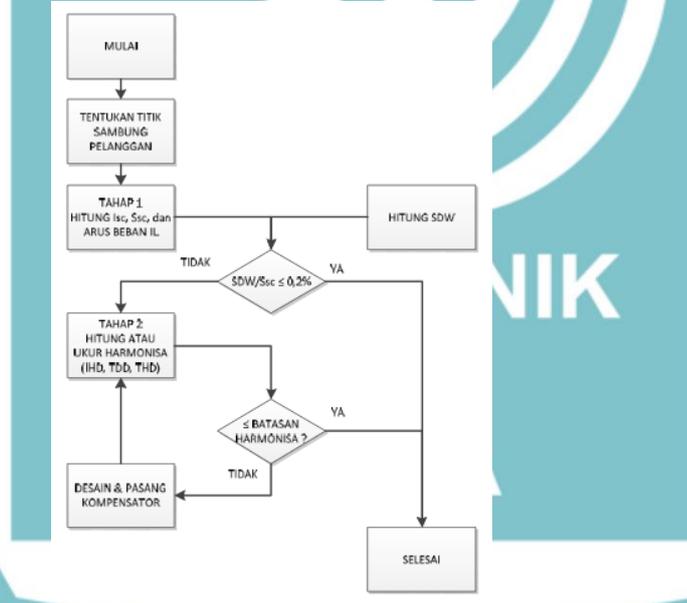
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Ragunan. Jenis beban yang berada pada gedung ini adalah beban lampu penerangan, Air Conditioner Central, Peralatan Sound Sistem dan Mesin Pompa Air.



Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

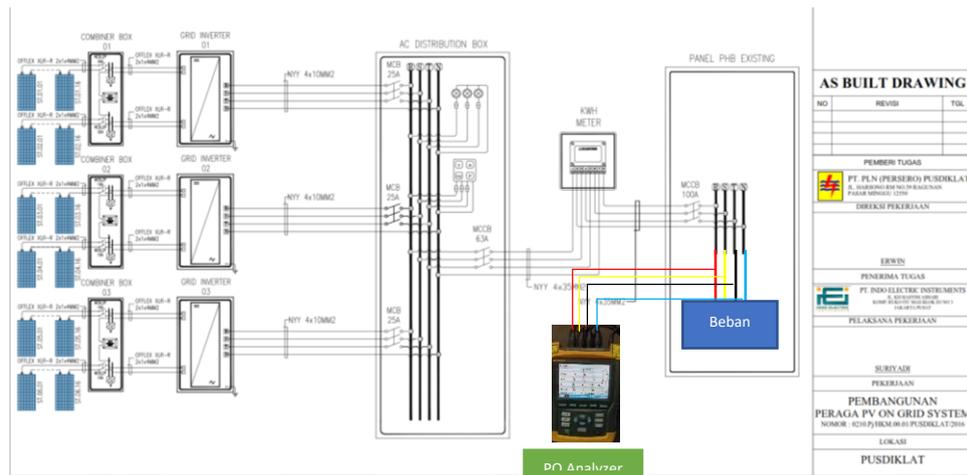


Gambar 3. Alur Penelitian Dengan Perhitungan

- Mengumpulkan data dengan melakukan pengukuran beban menggunakan alat *PQ Analyzer* minimal selama 2 minggu untuk mendapatkan nilai parameter yang dibutuhkan sebagai bahan analisa.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. Single Line Diagram Pengukuran PQ Analyzer

Data parameter ukur yang diperlukan adalah :

- a. Tegangan per Fasa
 - b. Arus Beban per Fasa
 - c. Arus Harmonisa per Fasa
 - d. Arus Harmonisa per Orde
 - e. IHDi per Orde
- Melakukan analisa awal untuk mendapatkan nilai - nilai parameter agar dapat menentukan masalah yang muncul serta menentukan desain filter yang dibutuhkan sesuai dari hasil pengukuran.
 - Membuat rancangan simulasi filter harmonisa pasif dengan formula perhitungan serta menggunakan perangkat lunak aplikasi ETAP 12.6.
 - Mengadakan unit filter sesuai dengan hasil rancangan simulasi dari aplikasi ETAP 12.6.
 - Memasang unit filter dan dilakukan pengukuran kembali untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan dan simulasi ETAP 12.6.
 - Membandingkan hasil pengukuran setelah dilakukan pemasangan filter terhadap kesesuaian standar IEEE 519-1992.
 - Kesimpulan

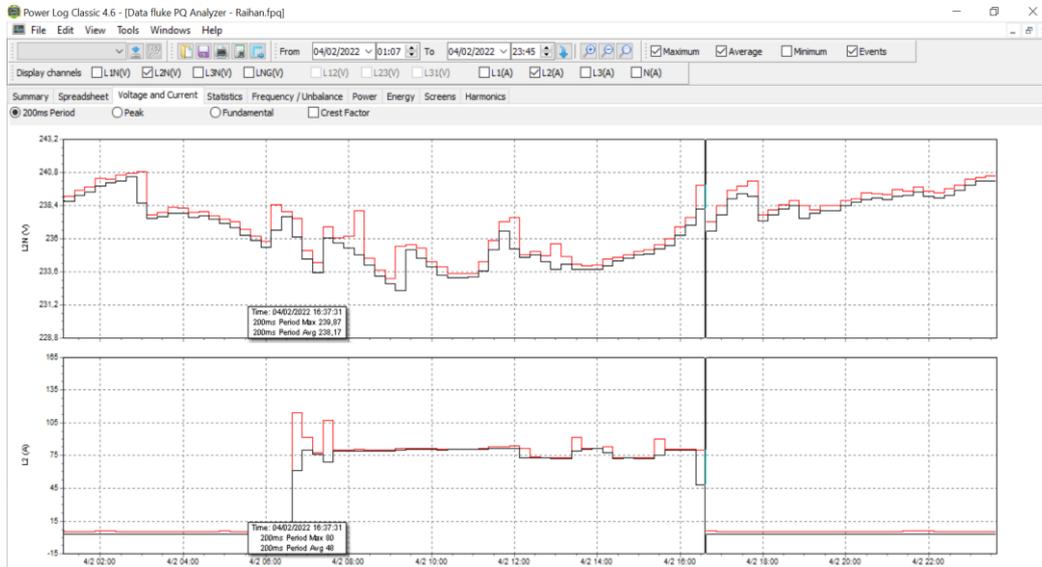
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengambilan Data Awal Sebelum Dipasang Filter Hamonisa

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Objek yang diteliti adalah bermacam-macam beban non linier pada pelanggan tegangan rendah 3 (tiga) fasa serta PLTS PV Roof Top beroperasi secara *On Grid*, pada hasil pengukuran didapat data sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Beban (A) dan Tegangan (V) pada Fasa S

Pada Gambar 6. Dapat dilihat grafik nilai beban arus dan tegangan pada objek penelitian, nilai arus maksimum yang muncul berada pada nilai 124 A. Mengingat ingat bahwa objek penelitian adalah gedung serbaguna yang dominan beban akan muncul di jam operasi kantor yaitu antara pukul 07.00 s.d 16.30.

Hasil pengukuran distorsi Harmonik dilakukan mulai tanggal 11 Januari 2022 s.d 5 Februari 2022, dengan hasil nilai maksimum sebagai berikut :

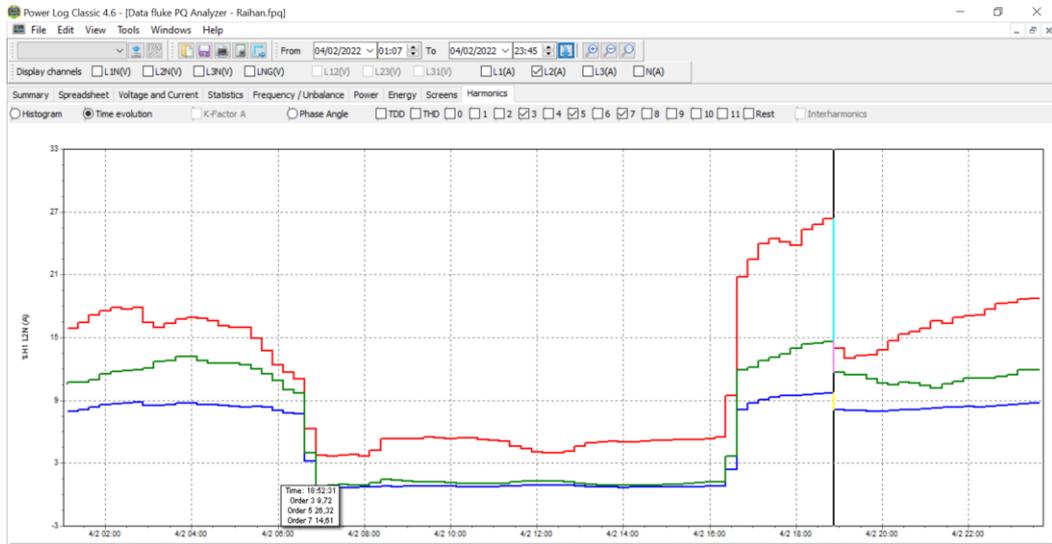
Tabel 2. THDi Per Fasa

NILAI	FASA R (%)	FASA S (%)	FASA T (%)
THDi	16,64	37,12	13,26

Dari tabel diatas nilai THDi tertinggi pada fasa S adalah **37,12 %**, maka fasa tersebut yang menjadi acuan untuk dilakukan pemasangan filter harmonisa, untuk harmonisa pada fasa S dapat dilihat pada gambar berikut ini :

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 6. Grafik Beban Harmonisa Pada Fasa S

Dari gambar.7 dapat dilihat fenomena kenaikan harmonisa terjadi pada waktu diluar jam operasi kantor, dari gambar fenomena harmonisa di jam 07.00 mulai turun dan naik setelah jam 16.30, artinya pada saat jam operasi kantor pasokan energi listrik berasal dari PLTS *on Grid* harmonisa arus sangat baik, ini disebabkan oleh modul PLTS yang memang sudah memenuhi standar dengan dilengkapi filter aktif pada modul *Inverternya*, namun setelah jam operasi saat Matahari sudah mulai tenggelam maka seiring waktu terjadi perpindahan pasokan energi dari PLTS ke sumber Trafo PLN, sehingga terlihat terjadi kenaikan arus harmonisa pada jam 16.30 hingga pukul 06.30.

Kondisi ini masih terjadi peningkatan nilai arus harmonisa pada jam tertentu tersebut sehingga masih perlu dilakukan upaya penurunan arus harmonisa antara pukul 16.30 s.d 06.30.

berikutnya adalah menentukan nilai IHDi tertinggi dengan data sebagai berikut :

Tabel 3. IHDi Per Orde Fasa S

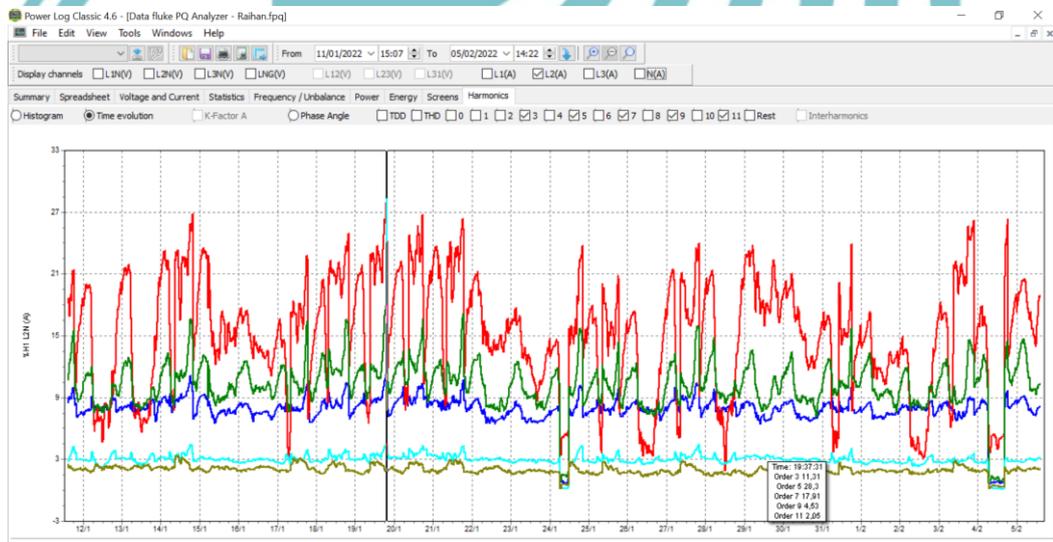
ARUS HARMONISA ORDE ke - N	ARUS FUNDAMENTAL (A)	IHDi (%)
----------------------------	----------------------	----------

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3	124	11,31
5	124	22,83
7	124	17,94
9	124	4,53
11	124	3,36
13	124	1,53
15	124	0,74
17	124	0,65
19	124	0,72
21	124	0,44
23	124	0,44

Dari data tabel 2 diatas didapatkan nilai IHDi tertinggi pada orde ke - 5 dengan nilai 22,83 %.

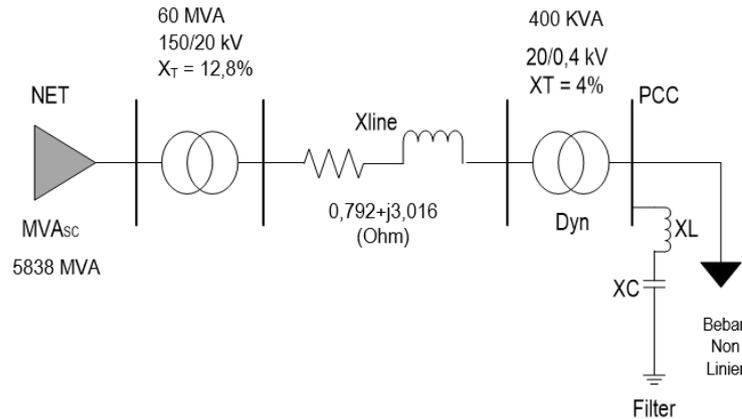


Gambar 7. Tampilan Rekaman Data IHDi Power Quality Analyzer

Dalam SPLN D5.004-1 Tahun 2012, Point Common Coupling (PCC) telah ditentukan batasan THDi dan IHDi dalam sistem tenaga listrik. Untuk dapat menerapkan batasan tersebut, maka perlu ditentukan besarnya arus hubung singkat 3 fasa di bus 0,4 kV transformator Dyn dengan trafo distribusi yang menyuplai pelanggan TR adalah 400 KVA, seperti pada gambar dibawah ini.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 8. Diagram Satu Garis Hubung Singkat 3 fasa di Bus sisi TR dan Pemasangan Filter

Dengan hasil ratio sebagai berikut :

$$I_{sc} / I_L = 37,86$$

Dari hasil diatas maka pelanggan tegangan rendah tersebut pada Fasa S perlu dilengkapi dengan filter Harmonik untuk orde ke-5 (Emisi hamonik terbesar) dengan nilai sebesar 22,83 %.

Penentuan Desain Filter Harmonisa Pada Sisi TR

Perhitungan penentuan desain filter ini menggunakan formula perhitungan dengan bantuan aplikasi excel mengacu pada IEEE Std 1531-2003.[15] dapat dilihat pada gambar berikut :

URAIAN	NILAI	SATUAN
Radian	57,32	
MVA SC Sistem	5837,88	MVA
S base	50,00	MVA
V base	20,00	kV
Z base	1,00	pu
I base	5,67	Ohm
Z source	1732,05	A
Z source	0,0103	J pu
X T 60 MVA	0,328	J pu
I sc TD 20 kV	7,23	A
I sc TD 20 kV	12,526,79	A
Zline 20 kV	0,792	Ohm
Zline 20 kV	3,016	Ohm
Zline 20 kV	0,1187	J pu
Zline 20 kV	0,4523	J pu
X T400KVA	0,040	J pu
Zline 20 kV	0,1187	pu
Zhs (20 kV)	2,4001	J pu
Zhs (20 kV)	4,4017	pu
Zhs (20 kV)	88,4991	pu
Zhs (20 kV)	0,792	Ohm
Zhs (20 kV)	29,3341	J Ohm
Zhs (20 kV)	29,3448	Ohm
Zhs (20 kV)	88,4991	pu
Zhs (20 kV)	0,2272	pu
Isc pcc(20 kV)	88,4991	pu
Isc pcc(20 kV)	393,4440	Ampere
Isc pcc(20 kV)	88,4991	pu
S.plg	350,00	KVA
I_L	10,98	A
I_sc / I_L	37,86	kali
Ih5	28,30	%

Gambar 9. Data Perhitungan Parameter Awal Menggunakan Aplikasi Excel

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

TAHAPAN	URAIAN	NOTASI	NILAI	SATUAN
Step 1	Menentukan faktor daya awal (Pfo) dan faktor daya sasaran (PFs) dari pelanggan	P-av	13,61	kW
	Daya Aktif (rata-rata)	Q-av	16,11	kvar
	Daya Reaktif (rata-rata)	S-av	19,90	kVA
	Daya Semu (rata-rata)	ϕ_0	0,80	radian
	Sudut Fasar	ϕ_0	46,05	degree
Step 2	Faktor Daya Awal (Pfo)	Cos ϕ_0	0,694	Lagging
	Faktor Daya Sasaran (PFs)	Cos ϕ_1	0,85	Lagging
Step 2	Menentukan kapasitas efektif daya reaktif filter	S-plg	19,90	kVA
	Daya Semu (pelanggan)	Q-eff	3,78	kvar
Step 3	Menentukan frekuensi tuning filter			
	Menurut IEEE 1531-1993 frekuensi filter harmonisa single-tuned ditentukan sebesar 3% - 15% dibawah frekuensi yang ditentukan sebagai faktor safety.			
Step 4	Menentukan impedansi efektif filter	V-LL	0,400	kV
	Tegangan pelayanan pelanggan	X-eff	42,32	Ohm
Step 5	Impedansi efektif filter			
	Menentukan reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif pada frekuensi fundamental			Orde Harmonik 5
	Reaktansi kapasitif	XC(1)	44,28	Ohm
	Reaktansi induktif	XL(1)	1,96	Ohm

Gambar 10. Data Tahapan Desain Filter Menggunakan Aplikasi Excel (1)

TAHAPAN	URAIAN	NOTASI	NILAI	SATUAN
Step 6	Menentukan arus rms filter			
	Menentukan arus fundamental pada filter			
	Arus fundamental pada filter yg terhubung bintang	If(1)	5,46	Amper
	Arus beban pelanggan	IL	28,29	Amper
	Arus fundamental	I1	22,83	Amper
			80,71	%
	Menentukan arus orde ke-5 pada filter			
	Reaktansi induktif pada frekuensi orde ke-5	XL(5)	9,81	Ohm
	Reaktansi kapasitif pada frekuensi orde ke-5	XC(5)	8,86	Ohm
	Reaktansi hubung singkat sisi 20 kV pada frekuensi orde ke-5	Xhst(20kV)/5	146,67	Ohm
	Resistansi hubung singkat sisi 20 kV pada frekuensi orde ke-5	Rhst(20kV)/5	0,79	Ohm
	Impedansi hubung singkat sisi 20 kV pada frekuensi orde ke-5	Zhst(20kV)/5	146,67	Ohm
	Arus beban pelanggan	IL	28,29	Amper
Arus orde ke-5 pada filter	I5th	8,01	Amper	
Arus filter orde ke-5	If(5)	7,95	Amper	
Arus orde ke-5 ke sumber	I5th	0,05	Amper	
Perbandingan Arus orde ke-5 dgn arus fundamental	I5th1	0,18	%	
Step 7	Menentukan rating kapasitas daya reaktif kapasitor			
	Rating kapasitas daya reaktif kapasitor	Qrated	10,840	kVar
Step 8	Menentukan arus nominal kapasitor			
	Arus nominal kapasitor	I Nom	0,181	Amper

Gambar 11. Data Tahapan Desain Filter Menggunakan Aplikasi Excel (2)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Langkah-Langkah pada gambar diatas diawali dengan menentukan kapasitas filter Harmonik dengan filter orde ke 5 di sisi Tegangan Rendah dengan faktor daya yang diinginkan 0,85 sebagai berikut :

1. Menentukan faktor daya awal (pf0) dan faktor daya yang diinginkan (pf1) dari beban non linier.

$$\text{Maksimum daya aktif (max)} = 13,61 \text{ kW.}$$

$$\text{Maksimum daya reaktif (max)} = 14,11 \text{ kVar.}$$

$$\text{Maksimum daya semu (max)} = 19,60 \text{ kVA.}$$

$$\text{Faktor daya awal (pf0)} = \cos 46,05^\circ = 0,694 \text{ lagging.}$$

$$\text{Faktor daya yang diinginkan (pf1)} = 0,85 \text{ lagging.}$$

2. Menentukan kapasitas efektif daya reaktif filter.

$$\begin{aligned} Q_{\text{eff}} &= S \times [\sin (\cos^{-1} \text{pf}_0) - \sin (\cos^{-1} \text{pf}_1)] \\ &= 19,06 \times [\sin (\cos^{-1} 0,694) - \sin (\cos^{-1} 0,85)] \\ &= 19,06 \times [\sin 46,05^\circ - \sin 31,79] \\ &= 19,06 \times [0,71994573 - 0,526782688] \\ &= 3,78 \text{ kVar.} \end{aligned}$$

3. Menentukan frekuensi tuning filter.

Menurut IEEE 1531-2003 frekuensi filter Harmonik single-tuned ditentukan sebesar 3% - 15% dibawah frekuensi yang ditentukan sebagai faktor safety. Dalam hal ini diambil nilai factor safety sebesar 5 %.

4. Menentukan impedansi efektif filter.

$$\begin{aligned} X_{\text{eff}} &= V_{\text{LLsys}}^2 (\text{kV}) / Q_{\text{eff}} (\text{kVar}) \\ &= (0,4)^2 \times 1000 / 3,78 = 42,32 \text{ Ohm.} \end{aligned}$$

5. Menentukan reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif pada frekuensi fundamental.

$$\begin{aligned} X_{C(1)} &= [h^2 / h^2 - 1] X_{\text{eff}} \\ &= [4,75^2 / 4,75^2 - 1] \times 42,32 = 44,28 \text{ Ohm.} \end{aligned}$$

$$X_{L(1)} = X_{C(1)} / h^2$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$= 44,28 / 4,75^2 = 1,96 \text{ Ohm.}$$

Dimana : h = orde Harmonik yang ditune oleh filter.

6. Menentukan arus rms filter.

$$I_{f(1)} = V_s / [X_{C(1)} - X_{L(1)}]$$

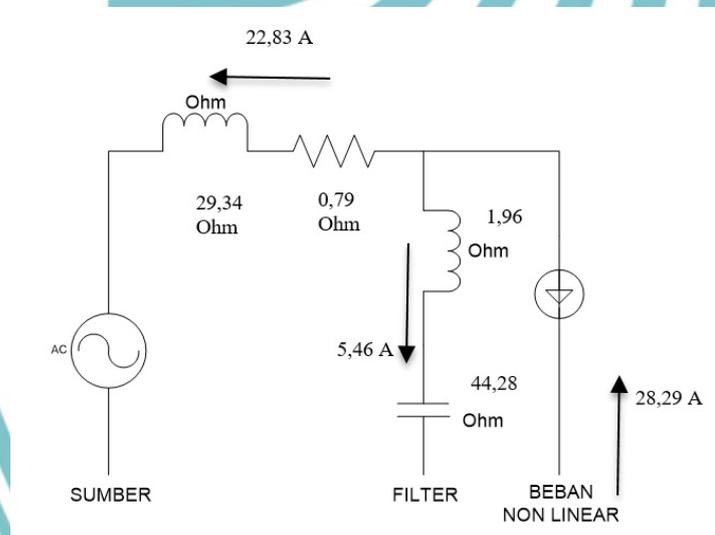
Arus fundamental pada filter yang terhubung bintang :

$$I_{f(1)} = (400/\sqrt{3}) / (44,28 - 1,96) = 5,46 \text{ A}$$

$$I_1 = 28,29 - 5,46 = 22,83 \text{ A}$$

$$\% I_1 = (22,83 / 28,29) \times 100\% = 80,71 \%$$

Rangkaian pengganti untuk menghitung Harmonik arus pada filter menurut IEEE Std 1531-2003 seperti gambar 8.



Gambar 12. Rangkaian Pengganti Harmonik Arus Fundamental dengan Filter Orde ke-5 di sisi Tegangan Rendah

Arus orde ke-5 pada filter :

$$X_{L(5)} = 5\omega L_{(1)} = 5X_{L(1)} = 5 \times 1,96 = 9,81 \text{ Ohm}$$

$$X_{C(5)} = 1/5\omega C_{(1)} = X_{C(1)} / 5 = 44,96 / 5 = 8,86 \text{ Ohm}$$

$$X_{hs(TR)(5)} = 5.X_{hs(TR)(1)} = 5 \times 29,334 = 146,67 \text{ Ohm.}$$

$$R_{hs(TR)(5)} = R_{hs(TR)(1)} = 0,79 \text{ Ohm}$$

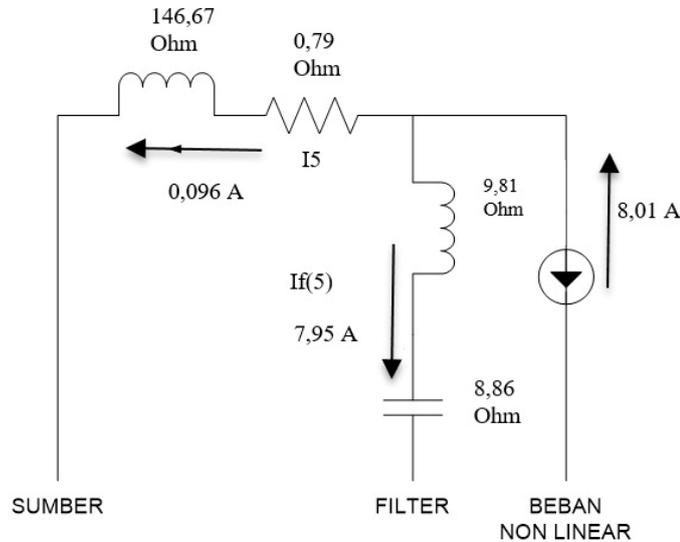
$$I_L = 19,06 \text{ kVA} / \sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV} = 28,29 \text{ A}$$

$$I_{5th} = 0,283 \times 28,29 = 8,01 \text{ A}$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rangkaian pengganti untuk menghitung Harmonik arus orde ke-3 pada filter seperti gambar 9.



Gambar 13. Rangkaian Pengganti Harmonik Arus Orde ke-5 dengan Filter Orde ke-5 di sisi Tegangan Rendah

$$Z_{hs}(TR)(5) = \sqrt{(0,79)^2 + (146,67)^2} = 146,67 \text{ Ohm}$$

$$I_{f(5)} = \left\{ \frac{146,67}{[146,67 + (9,81 - 8,86)]} \right\} \times 8,01 \text{ A}$$

$$= 7,95 \text{ A}$$

$$I_5 = 8,01 - 7,95 = 0,05 \text{ A}$$

Perbandingan terhadap arus fundamental :

$$I_5 / I_1 = (0,05 / 28,29) \cdot 100\% = 0,18 \%$$

Dengan pemasangan filter pasif pada sisi SLP Tegangan Rendah batas IHDI Harmonik arus untuk harmonic orde ke-5 sudah memenuhi standar karena nilai IHDI < 7%.

7. Menentukan rating kapasitas daya reaktif kapasitor.

Berdasarkan tegangan antar fasa kapasitor dan impedansi kapasitor, maka rating kapasitas daya reaktif kapasitor 3 fasa dapat dihitung dengan formula :

$$Q_{Crated} = (\sqrt{3} \cdot V_{Cpeak})^2 / X_{C(1)}$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$= (\sqrt{3} \times 400)^2 / 44,28 = 10,84 \text{ kVar}$$

8. Menentukan arus nominal kapasitor.

Arus nominal kapasitor dapat dihitung dengan formula :

$$I_{nom} = Q_{Crated} \text{ (kVar)} / \sqrt{3} \cdot V_{Cpeak} \text{ (kV)}$$

$$= 10,84 / \sqrt{3} \times 0,4 = 0,181 \text{ A}$$

Dengan mengacu pada langkah-langkah perhitungan 1-8, jika diberikan faktor daya dengan nilai 0,85 maka diperoleh Q_{Crated} , I_{nom} , L dan C sebagai berikut :

Tabel 4. Tabel hasil perhitungan Q_{Crated} , I_{nom} , L dan C dengan faktor daya 0,85

pf0	pf1	Q_{Crated} (kVAR)	$I_{nom} Q_{Crated}$ (A)	Induktor (L)	Kapasitor (C)
0,694	0,85	10,84	0,181	31 mH	360 μ F

Dengan mengacu pada langkah-langkah perhitungan 1-8, jika diberikan faktor daya dengan nilai 0,85 maka diperoleh hasil penurunan IHDi sebagai berikut :

Tabel 5. Tabel hasil perhitungan IHD harmonic orde ke-5 dengan faktor daya 0,85

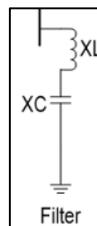
pf0	IHD h-5 awal (%)	pf1	IHD h-5 akhir (%)	% Penurunan IHD
0,694	22,83	0,85	0,18	99,5

Pembuatan Filter Harmonisa dan Uji Pemasangan Filter Harmonisa

Dari hasil perhitungan di dapatkan desain filter pasif single tuned rangkaian seri Induktor (L) & Kapasitor (C) sebagai berikut :

$$L = 31 \text{ mH}$$

$$C = 360 \mu\text{F}$$

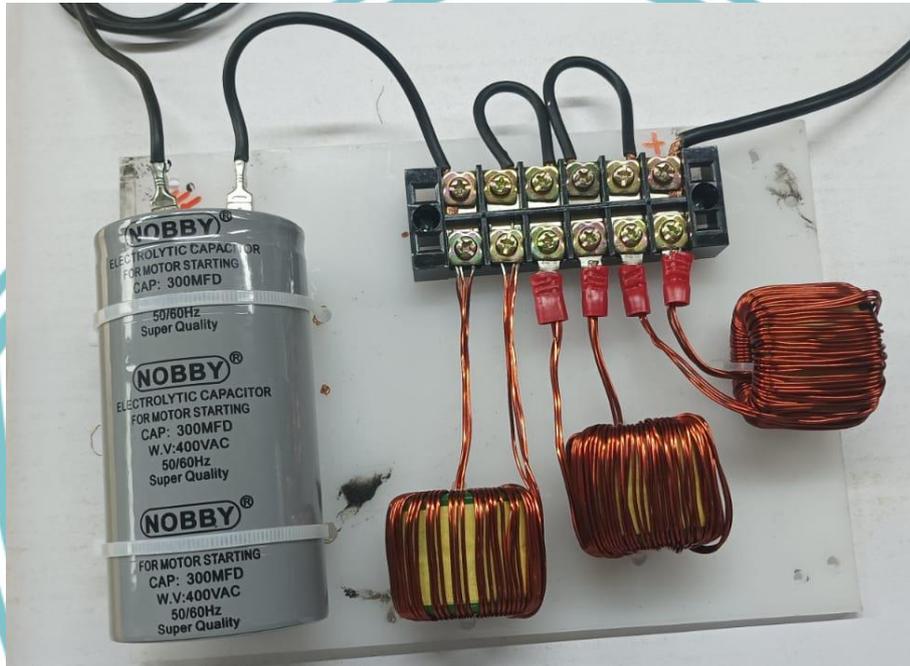


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Maka untuk memenuhi nilai tersebut maka dilakukan perakitan filter secara sederhana untuk pengujian dengan melakukan pembelian material after market yang tersedia di pasaran.

Setelah melakukan order material L dan C maka hasil rakitan filter sebagai berikut :



Gambar 14. Rakitan Filter Harmonisa Pasif Single Tuned Orde ke-5

Untuk memastikan nilai besaran L dan C dilakukan juga pengukuran dengan harapan dapat sesuai dengan hasil perhitungan desain.



Gambar 15. Pengukuran Besar Nilai L

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 16. Pengukuran Besar Nilai C

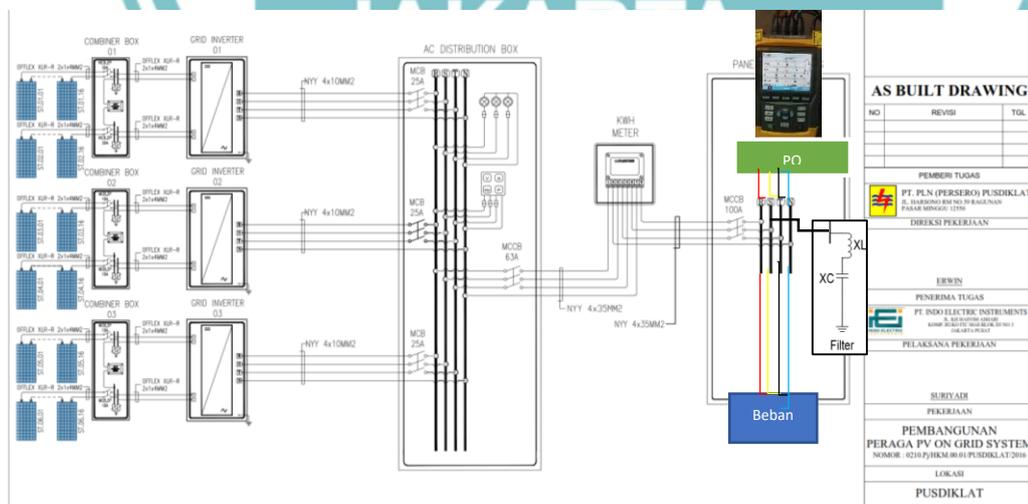
Dari hasil pengukuran nilai masing – masing elemen didapatkan nilai sebagai berikut :

$L = 28,6 \text{ mH}$ mendekati dari nilai perhitungan yaitu 31 mH

$C = 397 \mu\text{F}$ masih mendekati dari nilai perhitungan $360 \mu\text{F}$

Pengujian / Validasi Rakitan Filter Harmonisa *Pasif Single tuned*

Setelah filter berhasil dirakit tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan memasang filter pada objek penelitian, berikut gambar pemasangan filter :



Gambar 17. Diagram Pengujian Pemasangan Filter Harmonisa *Pasif Single Tuned*

Data ukur awal sebelum pengujian :

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rancangan filter harmonisa *pasif single tuned* ini menggunakan Metode Perhitungan, Untuk aplikasi ETAP tidak berhasil dilakukan karena kendala keterbatasan *library Version* yang dimiliki oleh peneliti tidak mendukung.

Hasil akhir dari pengujian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Tabel Data Perbandingan hasil Perhitungan dan Pengujian

pf0	IHD h-5 awal (%)	pf1	HASIL PERHITUNGAN		HASIL PENGUJIAN	
			IHD h-5 akhir (%)	% Penurunan IHD	IHD h-5 akhir (%)	% Penurunan IHD
0,694	22,83	0,85	0,18	99,5	5,5	60,1





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan :

1. Dari hasil penelitian upaya penurunan pada IHDi Orde ke-5 dari 14 % menjadi 5,5 % sudah memenuhi standar IEEE No.519 Tahun 2014 dan SPLN-D5.004 Tahun 2012 dibawah 7 %.
2. Prosentase keberhasilan penurunan sebelum dipasang Filter Harmonisa (perhitungan) adalah 99,35 % sedangkan setelah di pasang Filter Harmonisa penurunannya sebesar 60,7 % terdapat selisih perbedaan.
3. Dari hasil penelitian maka filter harmonisa yang sudah di rakit dapat membantu mengurangi arus harmonisa, sehingga dapat membantu mengurangi potensi susut peralatan Trafo Distribusi PLN.
4. Ada beberapa kemungkinan terjadinya perbedaan hasil dari sebelum dan sesudah pemasangan Filter, yaitu :
 - Perbedaan nilai L dan C antara desain perhitungan dengan hasil rakitan, Pemasangan nilai L dan C pada desain Filter Harmonisa terjadi perubahan karena menyesuaikan dengan keterbatasan material L dan C..
 - Perbedaan parameter data ukur antara data awal dan data hasil pengujian setelah dipasang Filter.
5. Pada Rakitan Filter nilai $L = 31 \text{ mH}$ dan nilai $C = 390 \mu\text{F}$, setelah diuji ternyata ada efek penambahan nilai ampere pada beban fundamental, ini diakibatkan karena Resonansi Filter di Frekuensi 46,9 Hz Mendekati nilai Frekuensi Fundamental 50 Hz.

Dari hasil kesimpulan diatas, dapat disarankan sebagai berikut :

1. Agar diupayakan pembuatan filter harus sesuai atau mendekati sama dengan nilai rancangan dari perhitungan.
2. Untuk memastikan bahwa desain filter dapat beresonansi sesuai dengan orde yang dituju, perlu dilakukan pengecekan resonansi frekuensi dengan bantuan kalkulator frekuensi resonansi (aplikasi on line) agar upaya penurunan Harmonisa pada orde yang diinginkan tepat sasaran.

3. Maka setiap kita ingin membuat desain filter yang baik perlu dilakukan beberapa metode pengujian serta harus memperhatikan toleransi nilai data pengukuran antara data awal dan data akhir pengujian diupayakan selisih datanya jangan terlampau jauh.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Zainuddin, "Pengaruh Masuknya PLTS on Grid Skala Besar Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya," p. 6, 2017.
- [2] P. Chaudhary and M. Rizwan, "Non-linear Control of Grid Tied Solar Photovoltaic System Considering Uncertainties," *IETE J. Res.*, pp. 1–16, Jan. 2021, doi: 10.1080/03772063.2020.1869592.
- [3] A. Ariyanto, R. D. Handayani, and B. Supriadi, "Studi Pengaruh Tensile Stress Terhadap Nilai Hambatan Kawat Penghantar," p. 8.
- [4] T. Koerniawan and A. W. Hasanah, "Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT-PLN Jakarta," *KILAT*, vol. 8, no. 2, Oct. 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.547.
- [5] S. R. Das, P. K. Ray, A. K. Mishra, and A. Mohanty, "Performance of PV integrated multilevel inverter for PQ enhancement," *Int. J. Electron.*, vol. 108, no. 6, pp. 945–982, Jun. 2021, doi: 10.1080/00207217.2020.1818848.
- [6] D. Antono and A. Wasono, "Pengaruh Filter Pasif Pada Jaringan Listrik Akibat Pembebanan Ac Inverter 1 Hp Dan 2 Hp," vol. 001, p. 17, 2015.
- [7] W. Sunanda and Y. A. Rahman, "Aplikasi Filter Pasif Sebagai Pereduksi Harmonik Pada Inverter Tiga Fase," vol. 2, no. 1, p. 7, 2012.
- [8] H. Sungkowo, "Perancangan Filter Pasif Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Beban Non Linier," vol. 11, p. 12, 2013.
- [9] M. Jannah and R. Putri, "Penggunaan Single Tuned Filter Untuk Memperkecil Harmonisa yang Ditimbulkan Oleh Beban Non Linier Pada Transformator 400 kVA," p. 7, 2018.
- [10] F. A. Samman, R. Ahmad, and M. Mustafa, "Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf. JNTETI*, vol. 4, no. 1, Jun. 2015, doi: 10.22146/jnteti.v4i1.140.
- [11] A. Kiswantono, "Perbandingan Penggunaan Model Filter Pasif Dan Filter Aktif Seri Tiga Fasa Untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik Akibat Beban Non-Linier Di Industri," p. 12, 2016.
- [12] A. Asnil, "Unjuk Kerja Filter Pasif dalam Mereduksi Distorsi Gelombang pada AC/DC Konverter," *JTEV J. Tek. Elektro Dan Vokasional*, vol. 6, no. 2, p. 122, May 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108695.
- [13] O. A. Rozak, "Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0," *EPIC J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 2, no. 2, Jul. 2019, doi: 10.32493/epic.v2i2.2878.
- [14] W. Prasetyadi, R. S. Wibowo, and J. A. R. Hakim, "Evaluasi Harmonisa dan Perencanaan Filter Pasif pada Sisi Tegangan 20 kV Akibat Penambahan Beban pada Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Tuban," vol. 1, no. 1, p. 6, 2012.
- [15] T. M. Blooming and D. J. Carnovale, "Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic Limits," in *Conference Record of 2006 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, Appleton, WI, USA, 2006, pp. 1–9. doi: 10.1109/PAPCON.2006.1673767.
- [16] SPLN D5.004 Tahun 2012 "POWER QUALITY (Regulasi Harmonisa, Flicker Dan Ketidakseimbangan Tegangan)"

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta