

Pengaruh Filter Pasif *Single Tuned* untuk Minimalisir Harmonisa Akibat Kontaminasi Arus Harmonisa pada Distribusi Tegangan Rendah Tiga Fasa PT. PLN Lhokseumawe

Selamat Meliala

Dosen Teknik Elektro Universitas Malikussaleh Lhokseumawe

Email: selamat.meliala@unimal.ac.id

Abstrak

Kwalitas daya listrik pada jaringan distribusi PT. PLN yang dibangkitkan oleh beban listrik yang non linear perlu diminalisir. Dikarenakan beban non linear membangkitkan panas yang berlebihan (*Overheating*). Umumnya beban listrik non liner berasal dari pelanggan listrik (masyarakat). Kebutuhan manusia yang semakin meningkat terhadap pemakaian jenis beban listrik beraneka ragam yang membangkitkan arus non linear antara lain TV LCD, AC inverter, Kulkas Inverter, Lampu Hemat Energi (LHE), Sound System dan lain-lain. Oleh karena distorsi arus sinusoidal oleh beban non linear harus dijaga ataupun dikurangi kerusakannya yang mengakibatkan distorsi sumber tegangan dan menyebabkan terkontaminasi gelombang sumber tegangan terhadap pemakaian beban listrik yang linear oleh masyarakat lainnya. Untuk mengurangi kerusakan sumber tegangan gelombang sinusoidal pada busbar ataupun PCC pada objek yang diteliti perlu dipasang salah satu filter, yaitu aktif atau pasif. Disini penelitian hanya melakukan pemasangan filter pasif menggunakan metode *single tuned*. Berdasarkan ketentuan standar IEEE 519-2014 (standar rev IEE519-.992) untuk arus harmonisa maksimum pada PCC dibatasi 20% dan untuk sumber tegangan 5%. Bersandar dari ketentuan tersebut maka rancangan filter pasif untuk mengamati seberapa efektif pengaruh metode yang sebutkan di atas terhadap berkurangnya komtaminasi arus harmonisa dengan busbar lainnya dengan satu penyulang. Pengurangan arus harmonisa dan tegangan harmonisa yang efektif dengan mengatur tuning tala pada frekwensi ketiga sehingga magnituda harmonisa urutan ketiga lebih kecil dibandingkan sebelum pemasangan filter, dari hasil simulasi pemasangan filter pasif pada busbar 9 menjadi lebih kecil sebesar $THD_V = 6,11\%$ dan $THD_I = 9,07\%$.

Kata Kunci: *Single Tuned, Total Harmonic Distortion, Point of Common Coupling*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik semakin lama semakin berkurang karena pemakaian energi yang tidak begitu ekonomis dan efisien dikarenakan jumlah penduduk semakin meningkat dengan predisksi jumlah energi kebutuhan yang tidak sesuai. Pemerintah dengan upaya penghematan energi listrik sebesar 20% (intruksi presiden no . 13 tahun 2011) untuk meningkatkan kebutuhan energi listrik untuk ketahanan energi nasional sampai tahun 2020 serta melakukan kebijakan manegemen energi nasional target sampai tahun 2050 maka memprediksi kebutuhan energi listrik sesuai dengan pertumbuhan pemakai energi listrik yang semakin besar seperti industri, kebutuhan hidup manusia dan lain-lainnya maka dilakukan salah satunya program konservasi energi pada tiap-tiap pemakai listrik yaitu salah satu menciptakan alat beban listrik yang hemat energi. Namun kenyataan alat yang didesain dengan menggunakan konsep hemat energi tidak sepenuhnya menghasilkan beban hemat energi listrik antara lain yaitu lampu LHE, TV LED, AC inverter, kulkas inverter, lcd projector dan lain-lainnya dimana menghasilkan arus harmonisa yang tinggi sehingga membangkitkan harmonisa pada titik sambungan

(Point of Common Coupling). Arus harmonisa yang begitu tinggi pada titik sambungan beban listrik akan membahayakan peralatan listrik dikarenakan naiknya total jumlah arus rms sebenarnya ($I_{true RMS}$).

Oleh karena itu maka diperlukan suatu alat yang bisa mengurangi harmonisa tersebut beserta dampak buruk yang ditimbulkannya, yaitu membuat suatu filter yang dapat mengurangi harmonisa sebesar mungkin. Para enginer listrik sudah banyak melakukan penelitian untuk mengurangi harmonisa tersebut yaitu dengan membuat suatu filter yaitu aktif maupun pasif dengan topologi yang beraneka ragam.

Perkembangan teknologi listrik untuk mengurangi arus harmonisa, transien, inrush current maupun swell pada beban listrik khususnya beban elektronik rumah tangga tidak terbandung lagi karena mengingat kebutuhan hidup manusia tidak dapat dibendung. Sehingga pemerintah dengan program hemat energi terus berusaha seefisien mungkin terus melakukan penelitian dan pengembangan terhadap kebutuhan energi ketahanan energi nasional sampai sekarang ini.

Pentingnya program kerja sama antara pemerintah yaitu PLN sebagai produser dan lembaga pendidikan tinggi dalam hal melakukan

penelitian dibidang energi listrik dalam hal menangani krisis energi dan manajemen energi dalam upaya meningkatkan ketahanan energi nasional diperlukan program penelitian berkelanjutan terhadap kualitas energi listrik salah satunya program memperbaiki kualitas daya listrik, yaitu sumber tegangan maupun arus listrik semurni mungkin. Sumber daya yang tidak murni atau tidak linier akan mempengaruhi kinerja peralatan listrik maupun beban listrik yang linier. Peralatan listrik menyebabkan panas yang tidak wajar serta akan mempercepat usia pemakaian (lifetime) dan menyebabkan kerusakan yang fatal.

Permasalahan kualitas daya merupakan hal yang perlu diangkat kembali dalam penelitian karena dampak ditimbulkan membahayakan seluruh kualitas daya listrik mulai dari beban, jaringan distribusi, jaringan transmisi sampai sumber pembangkit. Terkontaminasi arus harmonisa sumber dari beban akan merusakkan tegangan sistem penyulang lainnya bahkan kemungkinan impedansi sistem pembangkit melemah dan menyebabkan suplai tegangan dari pembangkit akan terdistorsi oleh arus harmonisa. Jika hal ini terjadi maka upaya pemerintah dalam menangani krisis energi listrik, ketahanan energi listrik akan sia-sia dan akan meningkatkan kerugian energi listrik yang sangat besar. Perusahaan pembuat beban listrik sudah menggunakan konsep hemat energi tetapi dalam pratikal dilapangan masih banyak terdapat beban elektronik rumah tangga maupun industri mengandung arus harmonisa dengan THD_1 di atas 10 % maupun 20%, ini benar-benar sangat membahayakan terutama pemakai listrik yaitu rumah tangga dimana kondisi rancangan isolasi instalasi kabel serta luas penampang kabel dihitung dalam kondisi arus sinusoidal murni.

Dalam kondisi seperti di atas maka pentingnya kajian penelitian untuk menyelesaikan masalah pengurangan atau menimalisir arus harmonisa mengingat konsumen dalam memenuhi kebutuhan energi listrik terutama pemakai beban listrik yang beraneka ragam tidak bisa dibendung kecuali kesadaran pribadi untuk benar-benar menggunakan beban-beban listrik yang linier.

Dalam penelitian menimalisir arus harmonisa terbangkit dalam titik sambungan atau pada bus dengan membuat suatu model rancangan filter pasif yang sesuai untuk kondisi tersebut yaitu dengan membandingkan kedua model rancangan filter pasif *single tuned* dan *double tuned* yang sesuai diaplikasi kedalam sistem tegangan rendah 380 V dan 220 V. Dimana kondisi tegangan rendah tersebut banyak digunakan oleh pemakaian beban listrik yang tidak linier. Data beban yang digunakan dengan melihat sample kuisioner dari pelanggan listrik serta jumlah total beban yang digunakan pada masing-masing rumah. Kemudian jumlah total beban yang banyak mengandung

beban non linier keseluruhan pada satu unit trafo distribusi. Banyak metode yang digunakan pada pengurangan harmonisa yaitu salah satunya menggunakan filter aktif seri, filter aktif-shunt. Filter Aktif biasanya menggunakan berupa pengatur modulasi lebar pulsa tegangan atau arus yang disebut *Pulse Width Modulation Voltage Source Inverter* (PWM VSI) atau *Current Source Inverter* (PWM CSI) yang dihubungkan ke level sistem tegangan rendah dan juga tegangan tinggi tergantung pada permasalahan kualitas daya, Rudnik dkk. Filter aktif sangat fleksible menghilangkan harmonisa tetapi biaya dan sistem teknologi kompensasi sangat mahal dan susah dibandingkan filter pasif seperti ungkapan di atas pemasangan filter tergantung permasalahan kualitas daya pada jaringan distribusi. Untuk permasalahan penelitian ini hanya cukup menggunakan filter pasif karena biayanya lebih murah dan mudah diaplikasikan.

Pada penelitian tertentu lainnya sebuah filter pasif terkadang meninggikan magnituda ketiga menurut, sehingga membahayakan peralatan listrik menurut Variz. Ini dikarenakan ketidak sesuaian tuning dan besaran dari magnituda arus harmonisa ketiga. Dalam pengujian yang akan dilakukan, sebuah filter pasif yang lebih efektif terhadap metode *single*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Total Distorsi Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik untuk melihat kandungan distorsi harmonisa pada komponen fundamentalnya diistilahkan dengan *THD* atau *Total Harmonic Distortion* menurut standar IEEE 519-1992.

Persentase Total Distorsi Harmonisa atau *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan dan arus dirumuskan seperti pada Persamaan (1) dan Persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_2^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

V_h = Komponen harmonisa tegangan ke-h
 V_1 = Tegangan frekwensi fundamental (rms)

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_2^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

Di mana:

I_h = Komponen harmonisa arus ke-h
 I_1 = Arus frekwensi fundamental (rms)

Menurut Standar *IEEE 519 – 1992*, untuk total distorsi harmonisa atau cacat gelombang

sinusoidal diperlihatkan pada Tabel 2 dan Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 1. Batas distorsi harmonisa arus untuk sistem tegangan 120 V sampai 69 kV

$I_{SC} A_c$	Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_c					THD (%)
	Individual Harmonic Order (Odd Harmonic)					
	<11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h	
<20	4	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 - 50	7	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 - 100	10	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 - 1000	12	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

THD arus harmonisa urutan genap dibatasi 25% dari harmonisa urutan ganjil diatas, Distorsi arus yang disebabkan sebuah penyearah setengah gelombang *dc* tidak diizinkan atau tidak termasuk pada tabel diatas. Semua peralatan tenaga dibatasi untuk besar distorsi arus

dimana:

I_{SC} :Maksimum arus *short circuit* PCC

I_L :Maksimum arus permintaan beban (komponen frekwensi

Untuk standar pembatasan distorsi tegangan di PCC diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas Distorsi Tegangan

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	THD (%)
69 kV and below	3,0	5,0
69,001 kV through 161 kV	1,5	2,5
161,001 kV and above	1,0	1,5

B. Efek harmonisa pada peralatan listrik

Efek harmonisa yang terjadi pada perlatan listrik akan membahayakan pada perlatan listrik itu sendiri akan menaikkan panas yang berlebihan (Overheating). Efek panas yang berlebihan pada perlatan listrik akan menimbulkan antara lain yaitu:

- Efek panas pada trafo akan menjadi kerusakan isolasi pada kumparan maupun minyak trafo dan jika panas terus menerus meningkat terjadi pendidihan pada minyak trafo dan akan terjadi kebakaran trafo itu sendiri.
- Terjadi gangguan pada alat proteksi dimana alat proteksi tersebut tidak merespon arus pengenal untuk menggerakkan pemutus beban (CB) dikarenakan magnituda arus fundamental pada frekwensi 50 Hz. tidak sesuai lagi setelan arus pengenal pada over current relay (OCR).
- Terjadi panas yang berlebihan pada kawat konduktor netral sehingga isolasi konduktur

tersebut lebih cepat rusak daripada kondisi sebelum terjadi arus harmonisa yang tinggi karena kabel tersebut mengandung arus beban tidak linier pada jaringan 3 fasa 4 kawat tidak seimbang sehingga membangkitkan *triple-n* harmonisa.

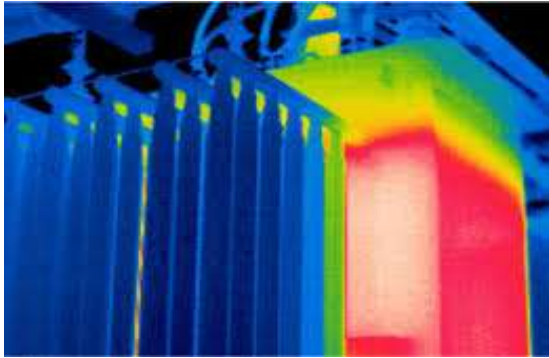
- Terjadi kerusakan pada fasilitas perangkat elektronik rumah tangga yang menggunakan sumber tegangan karena sudah terkontaminasi oleh harmonisa beban non linier lainnya.

Tabel 3 adalah tabel untuk beberapa jenis penyearah beban rumah tangga yang menghasilkan harmonisa yang tinggi dan pemasangan filter aktif:

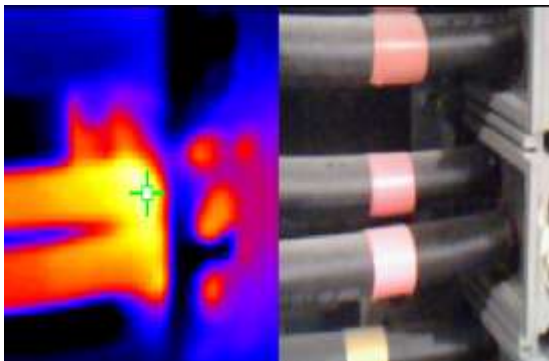
Tabel 3. Bentuk gelombang harmonisa pada berbagai penyearah dan filter aktif

Type of Load	Nonlinear Load Current Waveform	Supply Current with Active Filter	Nonlinear Load Current THD (%)	Supply Current THD (%)	Active Filter Rating (see Appendix A of IEC 61000-3-2)	
					120/240 volt applications	480 volt applications
Single Phase Power Supply			94%	6.2%	1.79	0.77
Seewer converter			87%	9.6%	1.62	0.79
ac Voltage Regulator, RL Load			23%	4.3%	0.62	0.27
ac Voltage Regulator, Resistive Load			51%	16.7%	1.26	0.54
6 Pulse Drive, Current Source Inverter			31%	10.3%	0.82	0.36
6 Pulse Drive, Voltage Source Inverter no series inductance			109%	13.2%	2.05	0.86
6 Pulse Drive, Voltage Source Inverter 7% ac input choke			46%	5.9%	1.14	0.49
12 Pulse Converter, Current Source Inverter			12%	5.6%	0.28	0.15
12 Pulse Converter, Voltage Source Inverter			17%	6.3%	0.28	0.15

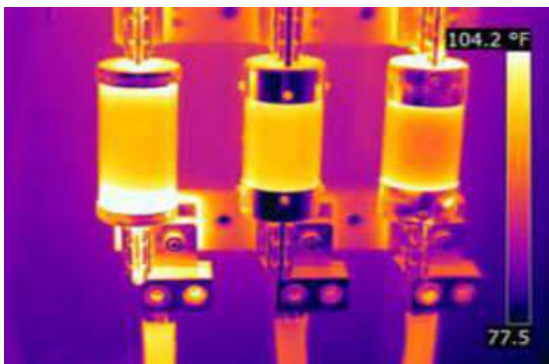
Gambar 1 adalah gambar peralatan listrik distribusi yang sedang mengalami kondisi overheating disebabkan oleh arus harmonisa diambil menggunakan kamera sensor image thermal.



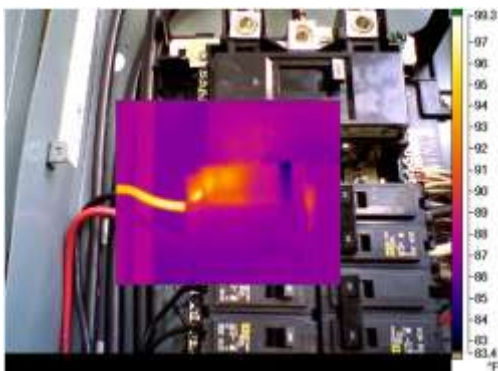
Gambar 1. Trafo gantung overheating



Gambar 2. Kabel Power Trafo Overheating



Gambar 3. Fuse 20 kV Overheating



Gambar 4. Konduktor breaker overheating

C. Resonansi

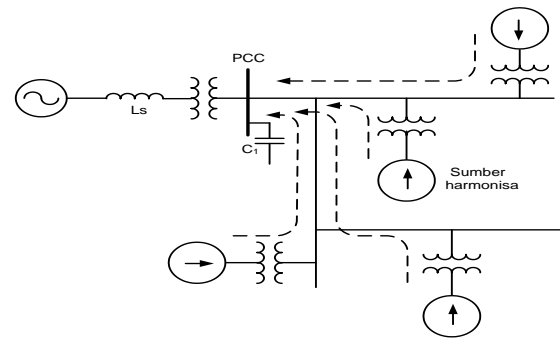
Efek distorsi gelombang *sinusoidal* pada sistem menyebabkan terjadinya resonansi, yaitu adanya kapasitor pada jaringan sistem tegangan rendah yang biasanya dipakai untuk memperbaiki *power faktor* yang dapat menimbulkan resonansi pada sistem lokal yang diikuti dengan naiknya arus yang sangat besar yang merugikan kapasitor itu sendiri. Resonansi pada sistem dibagi 2 yaitu resonansi paralel dan resonansi seri.

Resonansi paralel menghasilkan impedansi yang tinggi pada frekwensi resonansi. Sumber harmonisa dianggap sebagai arus yang menaikkan tegangan harmonisa dan arus harmonisa yang tinggi pada setiap lengan impedansi paralel.

D. Resonansi Paralel

Resonansi paralel dapat terjadi pada beberapa cara yang paling sederhana mungkin ketika sebuah kapasitor dihubungkan pada *busbar* yang sama dengan sumber harmonisa. Dengan asumsi bahwa sumber harmonisa bersifat induktif. Sebuah resonansi paralel dapat terjadi diantara sumber dan kapasitor dengan frekwensi resonansi seperti diberikan pada Persamaan (3) adalah:

$$fp = f \sqrt{\frac{S_S}{S_C}} \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 5. Sistem resonansi paralel pada *Point of Common Coupling (PCC)*

Resonansi paralel terjadi ketika sistem pada Gambar 5, arus harmonisa dari konsumen sebagai sumber pembangkit harmonisa pada sistem bertemu dengan impedansi harmonisa yang tinggi pada busbar. Hal ini akan menghasilkan sebuah resonansi antara induktansi sistem (L_s) dan kapasitansi sistem lain atau kapasitansi beban (C_L). Untuk menentukan kondisi resonansi yang ada diperlukan pengukuran arus harmonisa pada setiap beban konsumen dan suplai, bersama tegangan harmonisa pada busbar. Jika aliran arus yang masuk ke sistem tenaga dari busbar adalah kecil ketika tegangan harmonisa, menandakan resonansi antara induktansi sistem kapasitor dan kapasitor beban telah terjadi.

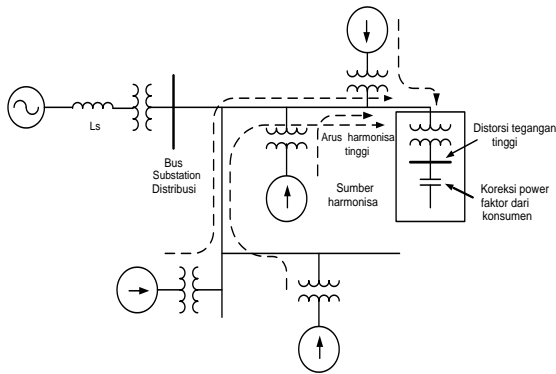
E. Resonansi Seri

Pada resonansi seri yang diperlihatkan pada Gambar 6, di mana pada frekwensi yang lebih tinggi beban dapat diabaikan sebagai penekan impedansi kapasitif. Pada kondisi frekwensi resonansi seri terjadi seperti diberikan pada Persamaan (4) sebagai berikut

$$f_s = f \sqrt{\left(\frac{S_T}{S_C Z_T} - \frac{S_L^2}{S_C^2} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

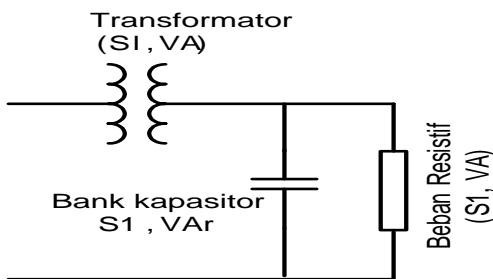
Di mana:

- f = Frekwensi dasar (Hz)
- f_s = Frekwensi resonansi (Hz)
- S_T = Rating transformator (VA)
- S_L = Rating beban (VA)
- S_C = Rating dari kapasitor bank (VAr)
- Z_T = Impedansi transformator dalam p.u



Gambar 6. Resonansi seri pada sistem distribusi

Pada kondisi resonansi seri, arus kapasitor yang tinggi dapat mengalir untuk tegangan harmonisa yang relatif kecil.

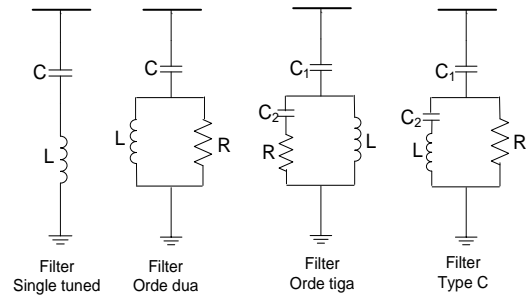


Gambar 7. Rangkaian resonansi seri

F. Filter Pasif

Untuk meredam harmonisa dalam sistem tenaga, maka kita perlu menggunakan filter harmonisa yaitu filter pasif dan filter aktif. Filter pasif terdiri dari induktansi, kapasitansi, dan unsur-unsur tahanan untuk mengendalikan harmonisa menurut Angelo seperti diperlihatkan Gambar 8. Teknik filter pasif yang menggunakan double tuned filter atau Type-C filter yang memiliki impedansi yang rendah untuk arus harmonisa pada frekwensitertentu atau frekwensi tinggi atau band-

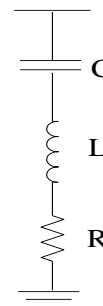
pass filters (damped filters) dapat memfilter harmonisa di atas frekwensi tertentu (frequency bandwidth).



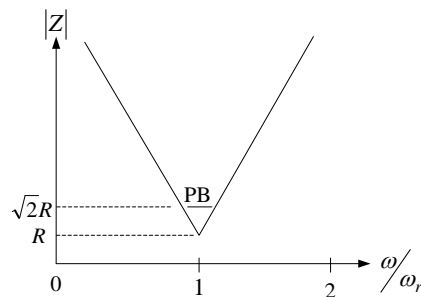
Gambar 8. Bentuk topologi Filter Pasif

G. Metode Single Tuned Filter

Untuk menentukan parameter filter terlebih dulu filter pasif di tala pada salah satu frekwensi biasanya pada frekwensi harmonisa ketiga atau harmonisa kelima untuk menentukan kualitas dari filter (Q). Faktor kualitas Q menentukan ketajaman tuning ke salah satu nilai Q frekwensi rendah atau frekwensi yang tinggi.



Gambar 9. Rangkaian Single Tuned Filter



Gambar 10. Impedansi vs frekwensi Single Tuned Filter

Gambar 10 Filter Pass Band (PB) didefinisikan pembulatan frekwensi dari reaktansi filter dengan tahanannya filter sudut impedansi 45° dan besarnya impedansi $\sqrt{2}R$. Hubungan faktor kualitas dan Pass Band (PB) sebagai berikut:

$$Q = \frac{\omega_o}{PB} \dots\dots\dots (5)$$

Di mana ω_0 adalah frekwensi sudut penalaan rad/detik

Tuning filter Q didefinisikan rasio induktansi atau kapasitansi terhadap frekwensi resonansi.

$$Q = \frac{X_o}{R} \quad (6)$$

Sedangkan frekwensi resonansi menggunakan Persamaan (7) di bawah ini:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \dots\dots\dots (7)$$

dan untuk frekwensi resonansi sebagai berikut:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana:

- $\omega_0 = 2\pi f_0$
- $L =$ Induktansi filter
- $C =$ Kapasitansi filter
- $f_r =$ Frekwensi resonansi

Besar reaktansi kapasitor adalah:

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \quad (9)$$

Di mana: $Q_C =$ Daya reaktif (kVar)

Kapasitansi dari kapasitor adalah:

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_C} \dots\dots\dots (10)$$

Besar reaktansi Induktor adalah:

$$X_L = \omega f_0 L \dots\dots\dots (11)$$

Besar tahanan induktor adalah:

$$R = \frac{X_n}{Q} \dots\dots\dots (12)$$

Di mana: $Q =$ faktor kualitas X/R .

Faktor Tuning filter:

$$\delta = \delta_\omega + \frac{1}{2}(\delta_L + \delta_C) \dots\dots\dots (13)$$

Di mana:

- $\delta_\omega =$ Perubahan frekwensi
- $\delta_L =$ Toleransi induktor
- $\delta_C =$ Toleransi kapasitor

Order Tuning Filter:

$$h_n = \frac{hr}{1 + \delta} \dots\dots\dots (14)$$

Di mana:

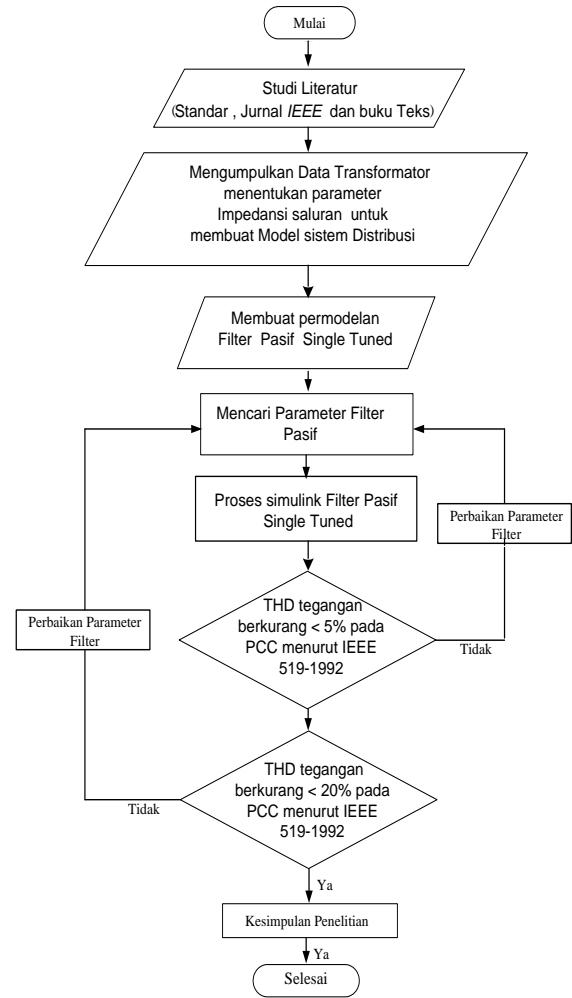
- $hr =$ Resonansi harmonisa
- $\delta =$ Deviasi relatif frekwensi

Untuk menghitung variabel L dan C maka pertama dihitung kapasitas kapasitor menggunakan Persamaan (15).

$$Q_C = P \left\{ \tan(\cos^{-1} pf_1) - \tan(\cos^{-1} pf_2) \right\} \dots (15)$$

H. Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar penelitian analisis *single tuned* dapat diperditulihatkanangkang dalam diagram alir seperti Gambar 11.

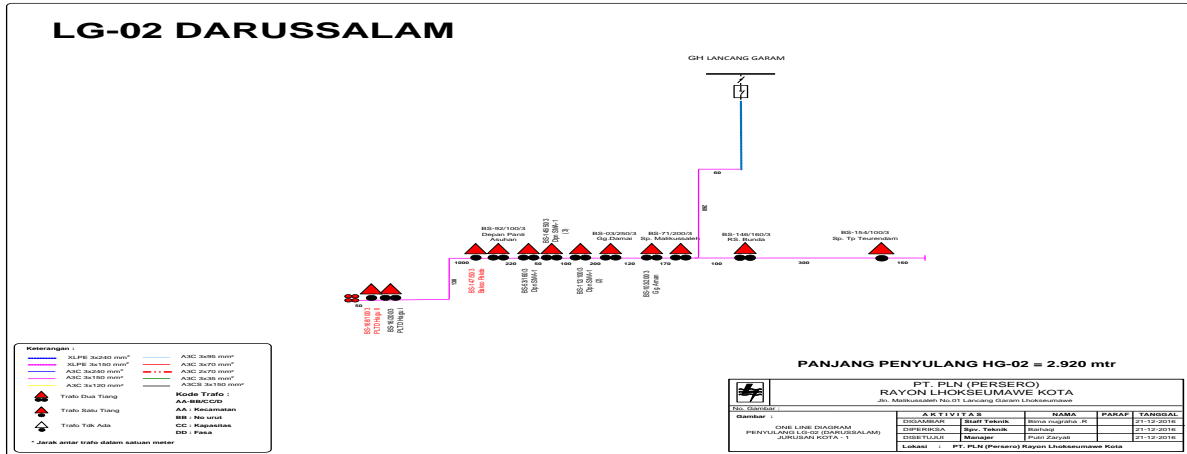


Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

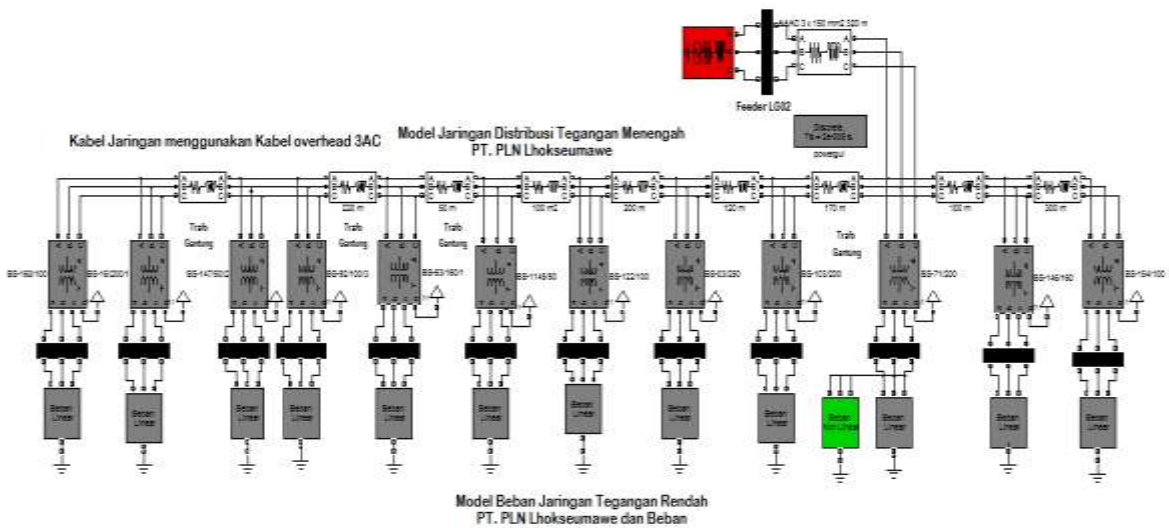
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Parameter Jaringan Distribusi

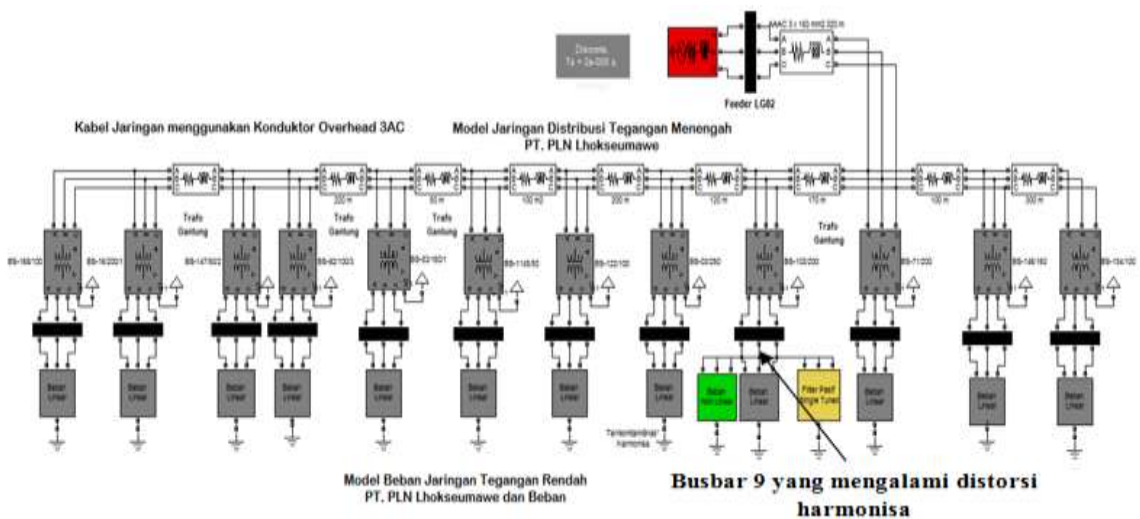
Data jaringan distribusi tegangan menengah PT. PLN Lhokseumawe pada penyulang (Feeder) LG02 pada salah feeder hubung pada GI Lhokseumawe, diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram segaris data gambar Visio penyulang LG -02



Gambar 13. Diagram Simulink sebelum pemasangan Filter pada busbar 9



Gambar 14. Diagram Simulink setelah penempatan Filter pada busbar 9 beban

Data trafo gantung distribusi diambil pada jaringan rendah 400 V yang mengalami THD_i arus yang tinggi yaitu dalam hal ini pada trafo kapasitas 200 kVA sebagai berikut :

- Data Transformator 200 kVA
- Tegangan 20/0.4 kV
- Impedansi Short Circuit Z_{sc} : 4%
- Beban trafo mendekati kapasitas maksimum 100%

Untuk arus hubung singkat I_{sc} sebagai berikut:

$$I_{sc} = \frac{S \times 100}{Z_{sc}\% \times \sqrt{3} \times 0,4} = \frac{200 \times 100}{4 \times 1,73 \times 0,4} = 7225,43A$$

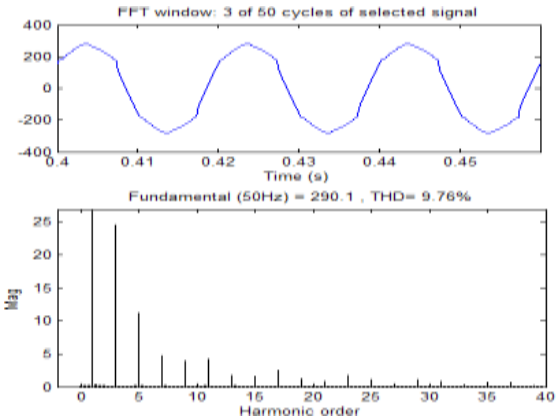
Tabel 4. Data jaringan distribusi tegangan menengah dan tegangan rendah

No	Jaringan Tegangan Distribusi dan beban linear dan Non Linear	Nilai Parameter
1	Suplai tegangan Feeder (LG-02)	20 kV, X/R = 7/5
2	Trafo Gantung (BS-168)	100 kVA, 20 kV/0,4 kV
3	Trafo Gantung (BS-16)	200 kVA, 20 kV/0,4 kV
4	Trafo Gantung (BS-147)	50 kVA, 20 kV/0,4 kV
5	Trafo Gantung (BS-092)	100 kVA, 20 kV/0,4 kV
6	Trafo Gantung (BS-053)	160 kVA, 20 kV/0,4 kV
7	Trafo Gantung (BS-145)	50 kVA, 20 kV/0,4 kV
8	Trafo Gantung (BS-112)	100 kVA, 20 kV/0,4 kV
9	Trafo Gantung (BS-030)	250 kVA, 20 kV/0,4 kV
10	Trafo Gantung (BS-103)	200 kVA, 20 kV/0,4 kV
11	Trafo Gantung (BS-071)	200 kVA, 20 kV/0,4 kV
12	Trafo Gantung (BS-146)	160 kVA, 20 kV/0,4 kV
13	Trafo Gantung (BS-154)	100 kVA, 20 kV/0,4 kV
9	Beban Linear	Kapasitas individual +/- 75 %
10	Beban Non Linear: - Diode - Kapasitor persta arus - Resistansi Beban	Vf= 1 V, Ron = 10 mΩ, Rs = 20 Ω, Cs = 10 μF CH=0,05 F RH = 3 Ω, 5 Ω, 9 Ω
11	Impedansi Jaringan Distribusi BS-168, BS-016 – BS-147 BS-147, BS-092 – BS-53 BS-145 – BS-112 BS-112 – BS-03 BS-03 – BS-103 BS-103 – BS-71 BS-71 – BS-146 BS-146 – BS-154	0,2443 + j0,3735Ω 0,0108 + j0,0165Ω 0,0108 + j0,0165Ω 0,0216 + j0,0331Ω 0,0259 + j0,0396Ω 0,0367 + j0,0562Ω 0,0216 + j0,0331Ω 0,0649 + j0,0992Ω

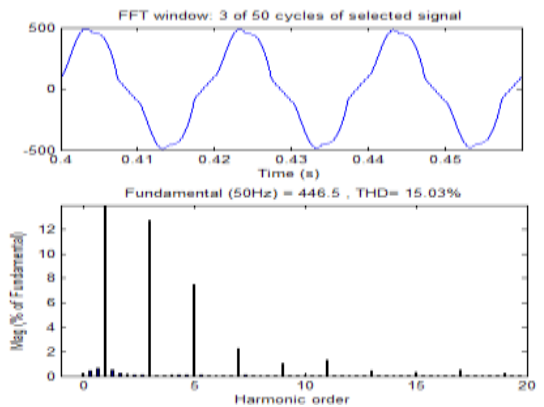
B. Simulasi Model sebelum dan setelah pemasangan Filter Pasif

Sebelum Pemasangan Filter

Dibawah ini data hasil spektrum analyzer yang diambil dari *FFT Power GUI Simulink*, dimana THD_v dan THD_i pada arus harmonisa yang tinggi sebelum pemasangan filter pasif pada busbar 9 seperti terlihat pada Gambar 15, Gambar 16 dan Tabel 5



Gambar 15. Distorsi gelombang tegangan dan THD_v pada bus 9 beban



Gambar 16. Arus harmonisa dan THD_i pada bus 9 beban

Tabel 5. Besaran Tegangan dan Arus harmonisa perfasa

n Harmo nisa	Mag Tegangan V _{max} (V)	Mag Tegangan V _{rms} (V)	Mag Arus I _{max} (A)	Mag Arus I _{rms} (A)
1	290,09	201,32	289,9	201,32
3	24,49	17,05	24,55	17,05
5	0	0	0	0
7	4,73	3,24	4,67	3,24
9	0	0	0	0
11	4,15	2,92	4,2	2,92
13	1,75	1,21	1,74	1,21
15	1,64	1,13	1,62	1,13
17	0	0	0	0
19	0	0	0	0
21	0,80	0,55	0,79	0,55
23	1,72	1,19	1,72	1,19
25	1,06	0,76	1,10	0,76
27	0,43	0,30	0,43	0,30
29	1,15	0,79	1,14	0,79
31	0,90	0,65	0,93	0,85

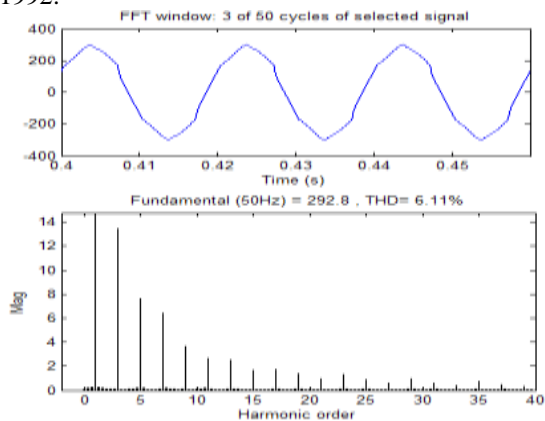
Setelah pemasangan Filter Pasif Single Tuned

Dari dasar teori untuk mendapat parameter filter *single tuned* dengan mengatur nilai power faktor sehingga bisa didapatkan besaran kapasitas kapasitor seperti tertera pada Tabel 6.

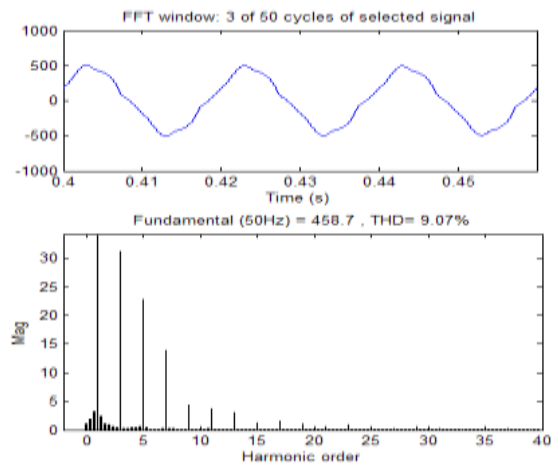
Tabel 6. Parameter Filter *Single Tuned*

Phasa	Single Tuned		
	Kapasitor (F)	Induktor (H)	Resistor (Ω)
A	0,000623	0,00203	0,0006
B	0,000623	0,00203	0,0006
C	0,000623	0,00203	0,0006

Pada Gambar 17 dan Gambar 18 memperlihatkan distorsi tegangan dan arus harmonisa sudah berkurang dan hanya arus harmonisa yang memenuhi standar IEEE 519-1992.



Gambar 17. Distorsi gelombang tegangan dan THD_V pada bus 9 beban sudah berkurang



Gambar 18. Arus Harmonisa dan THD_I pada bus 9 beban sudah berkurang

Tabel 7 memperlihatkan busbar yang terkontaminasi arus harmonisa pada busbar 9 dan setelah pemasangan filter pasif yang diletakkan pada bus 9 beban sehingga mempengaruhi berkurang masing-masing besaran THD_V dan THD_I pada busbar tersebut.

Tabel 7. Pengaruh harmonisa sebelum dan setelah penempatan filter pasif

Bus Beban	Sebelum penempatan filter		Setelah penempatan filter	
	THDV (%)	THDI (%)	Single Tuned	
Urutan			THDV (%)	THD I (%)
Bus 1	4,88	4,29	2,07	2,37
Bus 2	4,89	3,77	2,07	2,08
Bus 3	4,87	4,51	2,69	2,49
Bus 4	4,88	4,25	2,69	2,34
Bus 5	4,89	3,97	2,70	2,19
Bus 6	3,55	3,15	1,95	1,72
Bus 7	4,88	4,22	2,69	2,33
Bus 8	4,83	3,27	2,67	1,79
Bus 9	9,76	15,03	6,11	9,07
Bus 10	4,89	4,05	2,70	2,44
Bus 11	4,29	3,48	2,36	1,91
Bus 12	4,88	4,28	2,69	2,37

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi, penelitian pemasangan filter pasif *single tuned* pada busbar 9 maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sebelum pemasangan filter pasif pada bus 9 beban $THD_V = 9,76%$ dan $THD_I = 15,03%$.
2. Setelah pemasangan filter pasif $THD_V = 6,11%$ dan $THD_I = 9,07%$.
3. Kontaminasi arus harmonisa di bus 9 beban mempengaruhi busbar lainnya pada penyulang LG 02 PT. PLN Lhokseumawe.
4. Dan setelah dituning frekwensi ketiga pada arus harmonisa menggunakan metode *single tuned* pada bus 9 beban menyebabkan berkurangnya arus harmonisa pada bus bar lainnya..
5. Tegangan harmonisa dalam penelitian ini belum memenuhi standar IEEE 519-1992 masih melebihi standar maksimum 5%, oleh karena itu diperlukan tuning pemasangan filter *single tuned* pada frekwensi ketujuh dan kesebelas dari sumber arus harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angelo Baghini, 2008, *Handbook of Power Quality*, John Wiley & Sons Ltd, TheAtrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England
- [2] Bhonsle, D.C., Kelkar, R.B., 2011, *Harmonic Pollution Survey and Simulation of Passive Filter Using Matlab*, IEEE, Conference, Sivakasi, India.
- [3] Data Teknikal *Spesifikasi Transformator dan Jaringan Distribusi* dari PT. PLN.
- [4] IEC standard 61000-3,12:2011, (Ed. 2), 2011, *Limits for Harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input >16 A and ≥75 A per phase*, United Kingdom : IEC

- [5] IEEE standard 1459-2010, (Rev.IEEE standar 1459-2000), 2010, *IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non Sinusoidal, Balanced, or UnBalanced Conditions*, New York. IEEE.
- [6] IEEE standard 519-2014, (Rev.IEEE standar 519-1992), 2014, *IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonics Control in Electrical Power System*, New York. IEEE
- [7] IEEE standard 1036-2010, (Rev.IEEE standar 1036-1992), 2010, *IEEE Guide for Applications of Shunt Power Capacitors*, New York.
- [8] Jakkapong Tupsa-ard., Chamchoy, C., Tayjasant, T., 2011, *High-Voltage Passive Harmonic Filter Design*, ECTI Conference ISBN: 978-1-4577, Khon Kaen, Thailand.
- [9] Nelson, John P., 2004, *A Better Understanding of Harmonic Distortion in Petrochemical Industry*, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol.40, pp.220
- [10] Rudnick, H., Dixon, L., Moran, L., 2003, *Delivering Clean and Pure Power*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 1.
- [11] Variz, R.M., Rah Pareira, J.L.R, Carneiro, S. Jr., Barbosa, P.G., 2009, *Harmonic Analysis of Power Distribution Neutral-to-Earth Voltage (NEV) Test Case Using Four-Wire Three Phase Harmonic Current Injection Method*, IEEE Power Energy General Managing, ISSN: 1932-5571.
- [12] Zemerov, G.G., Ilyina, N.A., Ilyina, O.V., Sokol, E.I., Tugay, D.V., 2009, *Power Active Filter Installation Effect in Three-Phase Four Wire Distribution Network*, IEEE 10th International Conference and Seminar EDM, pp. 395-400, Juli.

