

IMPLEMENTASI FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI HARMONISA PADA MOTOR INDUKSI TIGA PHASA DI PT. BBE (BUKIT BAIDURI ENERGI)

Reda Asmara (15.12.029)

Abraham Lomi

Irrine Budi Sulistiawati

Program Studi Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
redaasmara22@gmail.com

Abstract— Penggunaan filter pasif atau Single Tuned Filter untuk mereduksi Harmonisa yang merupakan distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan frekuensi fundamentalnya. Harmonik sendiri disebabkan oleh beban-beban non linier. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi Total Harmonic Distortion (THDv dan THDi). Pembuatan serta Pemasangan filter harmonik dapat membantu untuk mengurangi harmonisa yang timbul akibat adanya gangguan harmonisa pada sistem kelistrikan pada panel Synchronous denagn (THDv) 5.54% dan (THDi) 30.04%. Setelah dilakukannya pemasangan filter pasif dengan perhitungan R, L, C dan mendesain filter harmonisa, harmonisa yang ada pada panel Synchronous dapat tereduksi.

Kata Kunci : Total Harmonic Distortion (THDv), Total Harmonic Distortion (THDi), Single Thuned Filter

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada saat ini kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik semakin meningkat. Hampir semua kegiatan sehari-hari masyarakat tidak lepas dari peranan energi listrik. Peningkatan kebutuhan energi listrik juga dibarengi dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di bidang elektronika daya. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang elektronika daya menyebabkan semakin canggihnya peralatan-peralatan elektronik. Peralatan-peralatan elektronik yang semakin canggih berdampak pula dengan jenis-jenis beban listrik. Beban listrik pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier merupakan beban yang impedansinya selalu konstan, sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu. Beban linier menghasilkan gelombang arus yang sama dengan bentuk gelombang tegangan. Apabila beban linier diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir juga merupakan sinusoidal. Beberapa contoh beban linier yaitu lampu pijar, pemanas, resistor, dan lain-lain. Selain beban linier terdapat pula

beban non linier yaitu beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Beban non linier menghasilkan gelombang keluaran yang tidak sama dengan gelombang masukkannya. Hal ini disebabkan karena adanya distorsi yang menyebabkan gelombang yang dihasilkan cacat. Distorsi gelombang tersebut disebut harmonisa/harmonik.

Banyaknya penggunaan beban non linear diperusahaan pertambangan tentunya pada motor listrik dan berbagai peralatan listrik lainnya dapat menurunkan kualitas daya pada perusahaan tersebut. Harmonisa sendiri mempunyai efek yang buruk terhadap peralatan listrik. Pada sistem pengoperasian motor induksi 3 fasa di PT. BBE (Bukit Baiduri Energi) distorsi harmonik dalam sistem tenaga listrik menimbulkan kerugian berupa penurunan kualitas sistem tenaga listrik. Penurunan kualitas sistem tenaga listrik antara lain terjadi panas pada peralatan listrik, penurunan faktor daya, dan lain-lain. Untuk meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik maka distorsi harmonik harus ditekan seminimal mungkin.

B. Pengaruh harmonisa pada komponen peralatan control

Harmonisa yang lebih banyak disebabkan karena adanya beban non linier misal membuat gangguan yang cukup besar kepada peralatan distribusi listrik. Beberapa komponen yang terpengaruhi oleh harmonisa, antara lain:

- **Konduktor**
Arus harmonisa dapat menyebabkan rugi-rugi pada kawat penghantar bertambah. Hal ini dikarenakan pada konduktor terdapat impedansi hambatan, yang meningkatkan arus harmonisa. Arus harmonisa yang mengalir tersebutlah yang menyebabkan panas. Panas tersebut semakin lama akan mengurangi daya hantamnya. Sehingga pada akhirnya meningkatkan rugi-rugi daya dan menurunkan efisiensi.
- **Transformer**
Pada transformer yang mengalami kerugian daya adalah pada kumparan primer, kumparan

sekunder dan inti besi (*ferromagnetic losses*). Telah diketahui bahwa arus harmonisa menambah kerugian daya pada penghantar yang berbentuk panas. Pada transformator berlaku sistem penginduksian, dimana bila arus harmonisa mengalir, maka fluks magnetik pada kumparan transformator akan menghasilkan rugi-rugi histerisis dan *eddy current*.

- *Circuit breaker*

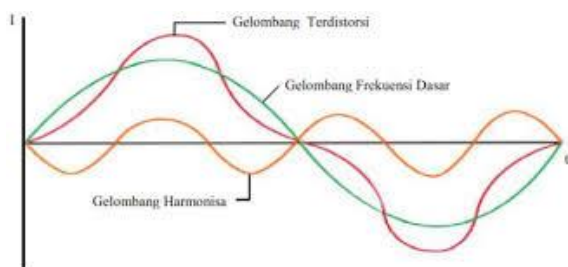
Pada *circuit breaker* konvensional menggunakan panas untuk membuat kawat didalam *circuit breaker* tersebut menjadi panas dan pada akhirnya akan putus. Arus harmonisa yang melewati *circuit breaker* tersebut masih dapat diamankan oleh *circuit breaker* yang konvensional ini. Hal ini dikarenakan panas yang terjadi karena arus harmonisa tersebut sama dengan panas yang timbul pada peralatan yang diproteksi tersebut. [4]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Harmonisa

Harmonisa adalah distorsi priodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensinya fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya. Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa (h_1 , h_2 dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya. Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikut sertakan pada gelombang fundamental, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan semakin membentuk non sinusoidal. Dengan kata lain harmonisa merupakan suatu cacat gelombang sehingga perubahan bentuk gelombang akibat adanya komponen frekuensi tambahan.

Peran harmonisa pada sistem tenaga listrik cukup besar, terutama pada alat-alat yang terdapat pada sistem tenaga. Harmonisa akan menimbulkan beberapa dampak seperti panas berlebih pada beberapa alat seperti generator dan transformator karena kecenderungan harmonisa mengalir ke tempat dengan impedansi yang lebih rendah. Beberapa dampak lain akan dijelaskan pada artikel ini. Parameter besarnya harmonisa dinyatakan dalam *Total Harmonic Distortion* (THD). [2]



Gambar 1. Gelombang Fundamental.

B. Sumber harmonisa

Komponen-komponen sistem tenaga listrik yang dapat menimbulkan arus harmonisa hendaknya perlu diperhatikan, dengan tujuan untuk memprediksi permasalahan yang diakibatkan oleh harmonisa, sehingga sudah dapat diperkirakan cara yang tepat untuk mereduksi harmonisa tersebut dengan cara memasang filter agar dibawah standar yang ditentukan. Beberapa sumber harmonisa beserta ordenya seperti tabel dibawah ini :

Tabel 1. Sumber Harmonisa dan Orde Harmonisa

Sumber Harmonisa	Orde Harmonisa
6 Pulse Drive / Rectifier	5, 7, 11, 13, 17, 19..
12 Pulse Drive / Rectifier	11, 13, 23, 25...
Switch-Mode Power Supply	3, 5, 7, 9, 11, 13...
Fluorescent / LHE	3, 5, 7, 9, 11, 13...
Arcing Device	2, 3, 4, 5, 7...
Transformer Energization	2, 3, 4

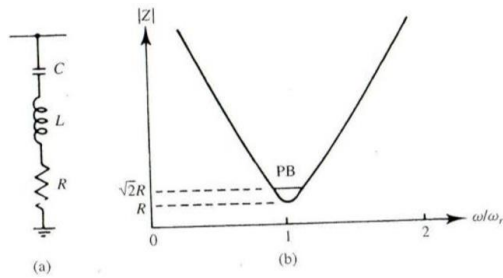
C. Standar IEEE 519-1992

Standar harmonisa digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (*THDI*) dan batas harmonisa untuk tegangan (*THDV*). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh perbandingan arus hubung singkat yang ada pada *PCC* (*Point of Common Coupling*), sedangkan IL adalah arus beban fundamental. Untuk batas harmonisa tegangan ditentukan dari besarnya tegangan sistem yang terpasang atau dipakai. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan IEEE Std 519-1992. *THDv* adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya dan *THDi* adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya.

Nilai THD yang diijinkan secara internasional maksimal berkisar (*THDv*) $\geq 5\%$ dan (*THDi*) $\geq 15\%$ dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya. Apabila *Total Harmonic Distortion* (*THDv*) dan (*THDi*) melebihi standar maka bisa membuat kerusakan pada kapasitor dan timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi.

E. Single Tuned Filter (Filter Penalaan Tunggal)

Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, induktor dan resistor (RLC). Berikut ini gambar rangkaian single tuned filter dan kurva impedansi:



Gambar 2. (a) Rangkaian *Single Tuned Filter*

(b) Kurva impedansi terhadap frekuensi

Impedansi single tuned filter diberikan oleh persamaan :

$$Z_f = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Untuk magnitude impedansi single tuned filter adalah :

$$|Z_f| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \dots \dots \dots (2)$$

Resonansi terjadi pada saat nilai reaktansi sama dengan kapasitansi. Filter diatur pada frekuensi f_r , yang menghasilkan resonansi seri. Berikut adalah persamaannya :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan : f_r = Frekuensi Resonansi
L = Induktor
C = Kapasitor

Pada frekuensi f_r , *single tuned filter* akan memiliki impedansi minimum yang dimana besarnya adalah resistansi R dari induktor. Filter ini akan menyerap semua arus harmonisa yang dekat dengan frekuensi f_r yang diinjeksikan. *Single tuned filter* dihubungkan paralel pada busbar dimana penguangan distorsi harmonisa ditentukan dan membentuk suatu filter bank. [5]

F. Desain *Single Tuned Filter*

Perencanaan atau desain yang harus diperhatikan untuk *single tuned filter* adalah lokasi pemasangan filter, orde yang akan diredam, menghitung besar kompensasi daya reaktif, komponen induktor dan resistor. Pada suatu tegangan (V), daya aktif, daya reaktif dan daya total adalah sebanding dengan arus dan akan sesuai dengan persamaan berikut:

- Perhitungan perbaikan faktor daya

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(V.I.\cos\theta)^2 + (V.I.\sin\theta)^2} \dots \dots (4)$$

Faktor daya merupakan salah satu indicator baik buruknya kualitas daya listrik. Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya reaktif. Faktor daya juga disimbolkan sebagai $\cos\theta$, dimana:

$$\cos\theta = pf = \frac{p}{s} \dots \dots \dots (5)$$

Salah satu cara untuk memperbaiki factor daya yaitu dengan cara kompensasi daya reaktif dimana sebagian kebutuhan daya reaktif yang di butuhkan beban didapat dari kompensator daya reaktif. Salah satu kompensator daya reaktif adalah kapasitor *bank* dengan *rating* kVAR sebagai berikut:

$$\Delta Q = P \times (\tan\theta_{awal} - \tan\theta_{target}) \dots \dots \dots (6)$$

Penambahan daya reaktif tersebut dibatasi pada nilai factor daya maksimal 100% dan tidak merubah keadaan *leading* atau *lagging* sistem sehingga tidak merusak beban terpasang.

Perhitungan nilai Parameter R, L, dan C

- Untuk perhitungan nilai L

$$n = \frac{f_n}{f_1} = \sqrt{\frac{X_L}{X_C}} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

n = Orde harmonisa
 f_n = Frekuensi ordo harmonisa (Hz)
 f_1 = Frekuensi awal (Hz)
 X_L = Reaktansi induktor (H)
 X_C = Reaktansi kapasitor (F)

Sehingga didapat

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \dots \dots \dots (8)$$

- Perhitungan nilai R

$$Q = \frac{nX_L}{R} = \frac{X_C}{nR} \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

Q = Daya reaktif (Mvar)
 n = Orde harmonisa
 X_L = Reaktansi induktor (H)
 X_C = Reaktansi kapasitor (F)

- Perhitungan nilai C

$$Q_c = \frac{V^2}{X_C} \frac{n^2}{(n^2-1)} \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

Q_c = Kompensasi daya reaktif (Mvar)
 V = Tegangan pada beban (V)
 X_C = Reaktansi kapasitor (F)
 n = Orde harmonisa

Sehingga didapat

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \dots \dots \dots (11)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

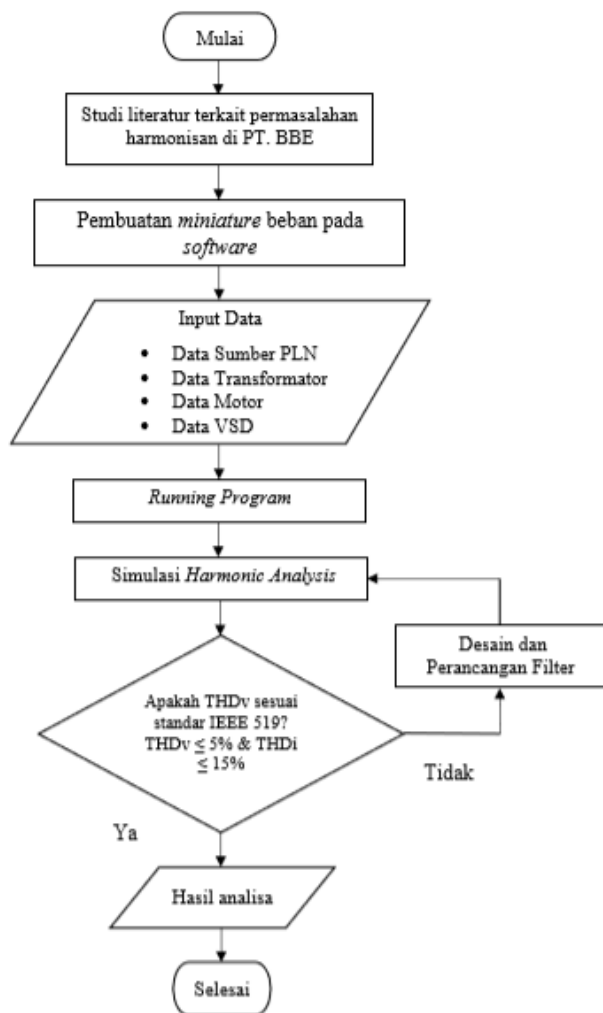
A. Alur Penelitian

Cara yang dilakukan yaitu :

- Pengumpulan data berupa data powergrid, trafo, motor, vsd.
 - Melakukan pemodelan *single line diagram* sistem PT. BBE (Bukit Baiduri Energi) pada *software PSCAD Power Simulation*.
 - Melakukan input data sumber PLN, data *transformator*, motor dan data vsd
 - Menjalankan pemodelan simulasi *harmonic analysis* untuk mengetahui harmonisa yang terjadi pada sistem.
 - Mengecek apakah *total harmonic distortion (THD)* $\leq 15\%$ dan $THD_v \leq 5\%$.
- “Ya” : Cek hasil dan analisa hasil

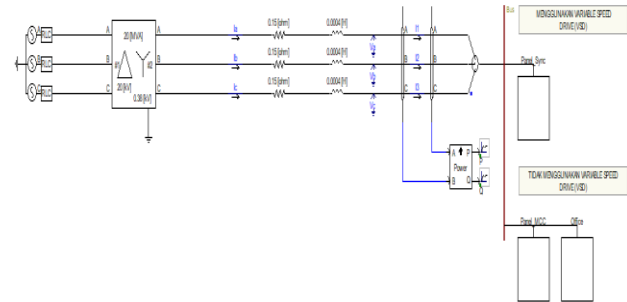
- “Tidak” : Lakukan pemasangan *filter pasif*. Setelah itu kembali di proses *harmonic analysis* untuk menganalisis keadaan sistem setelah dipasang *filter pasif*. Setelah proses simulasi *harmonic analysis* selesai dan *Total Harmonic Distortion* ($THD_i \leq 15\%$ dan $THD_v \leq 5\%$), kemudian cetak dan analisa data.
- f. Kesimpulan, apakah tingkat harmonisa tereduksi oleh filter yang telah dirancang, sehingga dapat menurunkan harmonisa dan memperbaiki kualitas daya listrik pada sistem.

B. Teknik Analisis Data

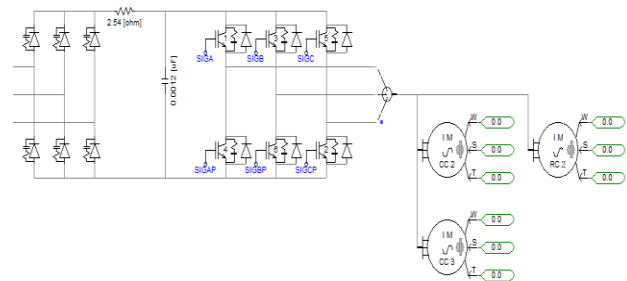


Gambar 3. Flowchart Pengerjaan

C. Permodelan Sistem PT. BBE (Bukit Baiduri Energi)

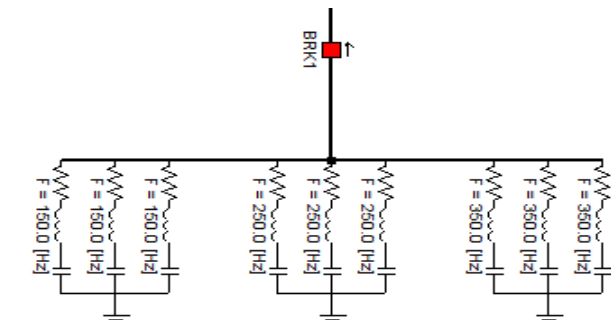


Gambar 4. Single Line PT. BBE (Bukit Baiduri Energi)



Gambar 5. Motor Induksi dengan VSD sebagai Beban Non-Linier

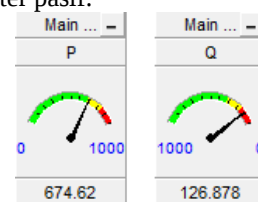
Pada gambar 2 dan 3 adalah *single line* sistem kelistrikan yang akan di simulasikan pada *software PSCAD*.



Gambar 6. Perangkaian dan Pemasangan Filter

D. Desain Filter Pasif

Mendesain filter pasif memiliki tujuan untuk mengetahui letak pemasangan filter pada beban yang akan di reduksi harmonisanya. Pada penempatan filter ini di tempatkan paralel sebelum masuk kebeban. Sebelum menentukan nilai parameter R, L, dan C hal yang perlu dilakukan adalah mengetahui nilai $\cos \varphi$ dari sistem agar nantinya bisa di ketahui berapa besar kompensasi daya reaktif yang di butuhkan untuk menentukan nilai parameter dari filter pasif.



Gambar 7. Daya aktif (P) dan Daya reaktif (Q) pada *software PSCAD Power Simulation*

Berdasarkan data yang telah dimasukkan dan dijalankan oleh program maka telah di peroleh besaran Daya aktif dan Daya reaktif pada gambar 7. Dengan persamaan rumus

Maka:

$$P_{awal} = 674.62 \text{ W}$$

$$Q_{awal} = 126.878 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{(674.62)^2 + (126.878)^2}$$

$$S = 686.44$$

Sehingga:

$$\cos \phi_{awal} = \frac{674.62}{686.44} \times 100\%$$

$$\cos \phi_{awal} = 0.8 \times 100\%$$

$$\cos \phi_{awal} = 80\%$$

Kompensasi Daya Reaktif

$$\Delta Q = 673.62 \times (0.8 - 0.9)$$

$$\Delta Q = 20.23 \text{ VAR}$$

Nilai Parameter R, L, dan C

Berdasarkan rumus perhitungan C, maka:

- Untuk Orde 3

$$126 = \frac{380^2}{X_c} \frac{9}{8}$$

$$X_c = 1289.28 \Omega$$

Sehingga:

$$C = \frac{1}{(314 \times 1289.28)} = 0.0000024 \text{ F} = 2.4 \mu\text{F}$$

- Untuk Orde 5

$$126 = \frac{380^2}{X_c} \frac{25}{24}$$

$$X_c = 1193.78 \Omega$$

Sehingga:

$$C = \frac{1}{(314 \times 1193.78)} = 0.0000026 \text{ F} = 2.6 \mu\text{F}$$

- Untuk Orde 7

$$126 = \frac{380^2}{X_c} \frac{49}{48}$$

$$X_c = 1169.9 \Omega$$

Sehingga:

$$C = \frac{1}{(314 \times 1169.9)} = 0.0000027 \text{ F} = 2.7 \mu\text{F}$$

Berdasarkan rumus perhitungan L, maka:

$$3^2 = \frac{1289.28}{X_L}$$

$$9 = \frac{1289.28}{X_L}$$

$$X_L = 143.25$$

Sehingga

$$L = \frac{1289.28}{314} = 0.456 \text{ H}$$

Berdasarkan rumus perhitungan R, maka:

$$R = \frac{1289.28}{(3 \times nQ)}$$

$$R = \frac{1289.28}{(3 \times 20.23)} = 2.1 \Omega$$

Tabel 2. Nilai Parameter dari Filter Pasif

R (Ω)	L (H)	C (μF)		
		Orde 3	Orde 5	Orde 7
2.1	0.456	2.4	2.6	2.7

IV. Hasil Simulasi dan Analisa

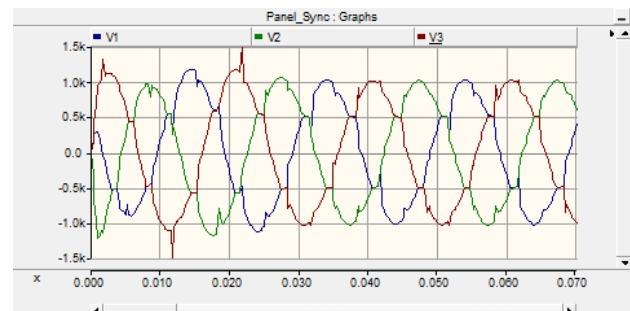
A. Pengujian Filter pasif pada PT. BBE (Bukit Baiduri Energi)

Permodelan sistem kelistrikan PT. BBE (Bukit Baiduri Energi) ini menggunakan *software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*. Selanjutnya dilakukan *harmonic analysis* pada sistem PT. BBE untuk mengetahui *Total Harmonic Distortion* (THDv) dan (THDi) pada panel Sync yang menggunakan *Variabel Speed Drive* (VSD). *Harmonic analysis* juga di gunakan untuk membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan filter pasif pada sistem.

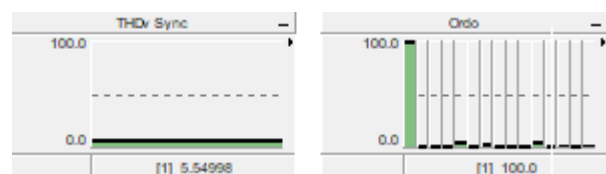
B. Running Simulasi *single line* pada saat Breaker (Breaker Filter) Close

Pada panel Synchronous

- Untuk Tegangan



Gambar 8. Gelombang Tegangan Pada Sistem Sebelum Pemasangan Filter

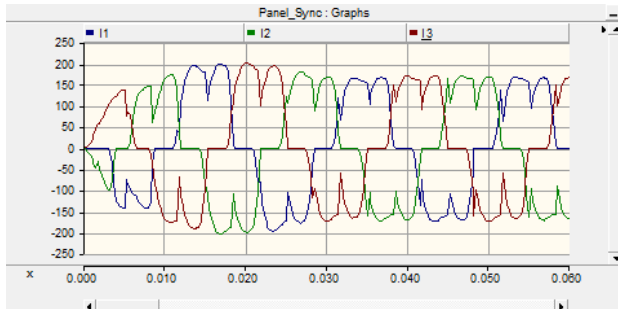


Gambar 9. Grafik Nilai Harmonisa Tegangan Pada Sistem Sebelum Pemasangan Filter

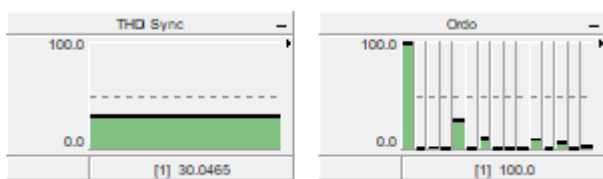
Simulasi yang dilakukan pada sistem PT.BBE (Bukit Baiduri Energi) dengan penambahan beban *non-linier* menunjukkan beban *non-linier* tersebut menimbulkan harmonisa pada tegangan sistem. Nilai harmonisa pada tegangan sistem menunjukkan total distorsi harmonisa

tegangan (THD_v) sebesar 5.54 %. Gambar 9 menunjukkan grafik nilai total distorsi harmonisa tegangan (THD_v) dan grafik ordo harmonisa tegangan sebelum pemasangan filter harmonisa.

- Untuk Arus



Gambar 10. Gelombang Arus Pada Sistem Sebelum Pemasangan Filter



Gambar 11. Grafik Nilai Harmonisa Arus Pada Sistem Sebelum Pemasangan Filter

Nilai harmonisa pada arus sistem menunjukkan total distorsi harmonisa arus (THD_i) sebesar 30.04 %. Gambar 11 menampilkan grafik nilai total distorsi harmonisa arus (THD_i) dan grafik ordo harmonisa arus sistem sebelum pemasangan filter harmonisa.

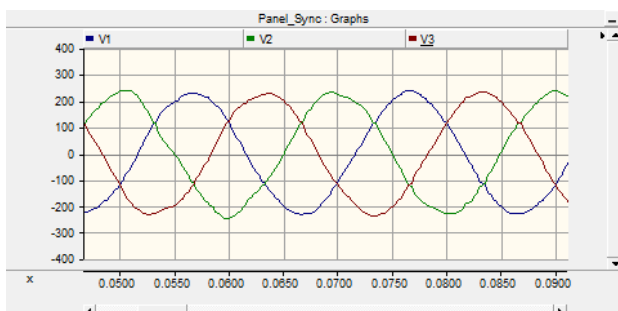
Tabel 3. Kondisi Sistem PT. BBE Sebelum Pemasangan Filter Pasif

Sistem PT. BBE		
Panel	THD_v	THD_i
Sync	5.54 %	30.04 %

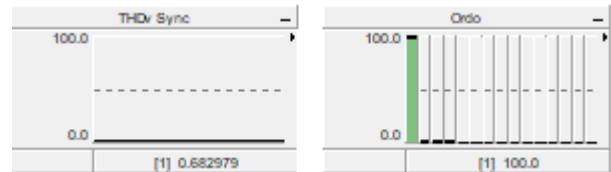
C. Running Simulasi *single line* pada saat Breaker (Breaker Filter) Open

Pada panel Synchronous

- Untuk Tegangan



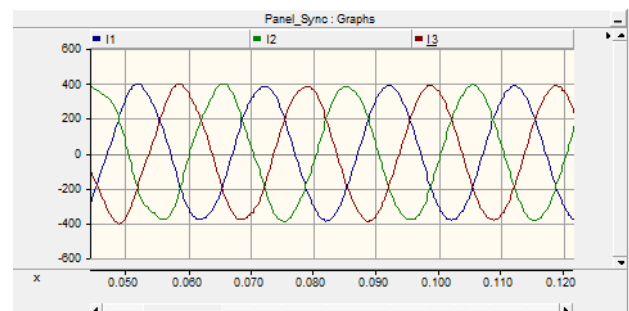
Gambar 12. Gelombang Tegangan Pada Sistem Sesudah Pemasangan Filter



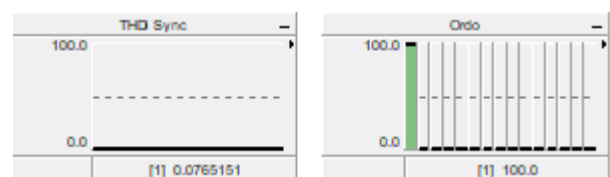
Gambar 13. Grafik Nilai Harmonisa Tegangan Pada Sistem Sesudah Pemasangan Filter

Filter pasif yang telah dipasang pada posisi open dapat mereduksi nilai harmonisa pada tegangan sistem. Gambar 13 menampilkan grafik nilai total distorsi harmonisa tegangan (THD_v) dan grafik ordo harmonisa tegangan sesudah pemasangan filter yang menunjukkan penurunan nilai harmonisa yang signifikan dari nilai total distorsi harmonisa tegangan (THD_v) 5.54 % menjadi 0.68 %.

- Untuk Arus



Gambar 14. Gelombang Arus Pada Sistem Sesudah Pemasangan Filter



Gambar 15. Grafik Nilai Harmonisa Arus Pada Sistem Sesudah Pemasangan Filter

Filter pasif yang telah terpasang tersebut pada posisi open dapat mereduksi nilai harmonisa pada arus sistem dari nilai total harmonisa arus (THD_i) 30.04 % menjadi 0.07 %. Gambar 15 menampilkan grafik nilai total distorsi harmonisa arus (THD_i) dan grafik ordo harmonisa tegangan sesudah pemasangan filter.

Tabel 4. Kondisi Sistem PT. BBE Sesudah Pemasangan Filter Pasif

Sistem PT. BBE		
Panel	THD_v	THD_i
Sync	0.68 %	0.07 %

D. Tabel perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan
Single Tuned Filter

Tabel 5 Total distorsi harmonisa tegangan dan arus sebelum dan sesudah pemasangan *single tuned filter*

Subpanel	THD _v		THD _i	
Panel Syn	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
	5.54%	0.68%	30,04%	0.07%

V. Kesimpulan

1. Untuk mereduksi harmonisa dilakukan pemasangan filter pasif pada beban motor yang menggunakan VSD dengan melakukan perhitungan untuk menentukan nilai parameter pada filter pasif tersebut. Yang dimana telah dihitung dengan besar nilai resistor (R) 2,1 Ω , dan nilai inductor sebesar 0,456 H dan untuk nilai kapasitor (C) untuk orde 3 sebesar 2,4 μF , untuk orde 5 sebesar 2,6 μF , dan unruk orde 7 sebesar 2,7 μF .
2. Dari tabel tersebut dapat di lihat sebelum pemasangan filter pasif, total distorsi harmonisa tegangan (*THD_v*) pada panel sistem Synchronous PT. BBE (Bukit Baiduri Energi) adalah 5.54 % dan total distorsi harmonisa arus (*THD_i*) pada panel adalah 30.04 %.
3. Dan saat sesudah pemasangan filter pasif total distorsi harmonisa tegangan (*THD_v*) pada panel sistem Synchronous PT. BBE (Bukit Baiduri Energi) turun menjadi 0.68 % dan total distorsi harmonisa arus (*THD_i*) pada panel menjadi 0.07 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ashish Bagwari. “Volyage harmonic reduction using passive filter shunt passive-active filters for non-linear load”. *Elektronics and Communication Dapartement*.
- [2] Ferry Rahmat Astianta Bukit “Analisa harmonisa pada karakteristik motor induksi tiga phasa”. Universitas Quality.
- [3] Ali Kasim. “Pengaruh harmonisa motor induksi rotor belitan slip recovery”. *Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang*.
- [4] Febrianto Cahyo Nugroho. “Penggunaan filter pasif untuk mereduksi harmonisa akibat pemakaian mesin las listrik”. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- [5] Andrias Ade, Suryono, M. Zaenal Efendi. “Penggunaan filter pasif untuk mereduksi harmonisa akibat pemakaian beban non linear”. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh November.