IMPLEMENTASI *HYBRID FILTER* DALAM MEREDUKSI HARMONISA TERHADAP UNJUK KERJA VSD (*VARIABLE SPEED DRIVE*) PADA MOTOR *SAFETY CYCLONE FEED PUMP* PC-440 DI *CONCENTRATOR 3* PT FREEPORT INDONESIA

PROPOSAL SKRIPSI

Diusul Oleh :

ABRAHAM IONI WAHYUTOMO

NIM.1212015

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2016

IMPLEMENTASI *HYBRID FILTER* DALAM MEREDUKSI HARMONISA TERHADAP UNJUK KERJA VSD (*VARIABLE SPEED DRIVE*) PADA MOTOR *SAFETY CYCLONE FEED PUMP* PC-440 DI *CONCENTRATOR 3* PT FREEPORT INDONESIA

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada beberapa dekade terakhir perkembangan dalam dunia kelistrikan semakin pesat. Dunia kelistrikan dituntut untuk menciptakan inovasi-inovasi terbaru sebagai pendukung proses produksi pada industri. Karenanya banyak alat-alat elektronika daya pada sistem kelistrikan yang bersifat *non-linear* yang banyak menimbulkan harmonisa. Pengaruh harmonisa akan berdampak sangat serius dikarenakan dapat menurunkan faktor daya dan menimbulkan beberapa problematika lainnya seperti pemanasan pada komponen-komponen yang dialiri arus harmonisa seperti motor, transformator, penghantar dll. Hal ini menyebabkan cepatnya penurunan performa kerja dari komponen-komponen tersebut disebabkan *over heating* yang disebabkan oleh harmonisa. Penurunan performa tersebut cepat atau lambat secara kontinyu dapat merusak komponen itu sendiri. Rusaknya salah satu komponen kelistrikan di industri dapat menyebabkan kerugian besar pada industri tersebut terutama dalam proses produksinya, karena komponen satu dengan komponen yang lain bekerja secara *sequence* dan apabila terdapat salah satu komponen yang rusak maka akan menyebabkan *down time* dan menyebabkan tidak tercapainya target produksi[1].

Mayoritas peralatan kelistrikan sebagai penggerak mesin dalam proses produksi di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia berupa motor-motor asinkron. Dalam implementasinya, motor-motor asinkron digunakan sebagai penggerak beberapa konveyor karena kecepatan putar motor asinkron yang dapat diatur oleh VSD (*Variable Speed Drive*). VSD merupakan peralatan elektronika daya berupa *rectifier* dan *inverter* yang merupakan beban-beban *non-linear* penyumbang harmonisa[2].

Pada implementasinya untuk meredam harmonisa, umumnya PT Freeport Indonesia menggunakan *Series Line Reactor*. *Series Line Reactor* yang digunakan merupakan produk dari produsen peralatan listrik *Allen-Bradley* atau biasa juga disebut *Rockwell Automation* yang mana terpasang 1 kabinet dengan lemari panel dari VSD

(*Varaible Speed Drive*) yang juga merupakan buatan dari produsen *Allen-Bradley*. Kelebihan *Series Line Reactor* adalah memiliki harga yang relatif murah dibanding dengan filter-filter harmonisa pada umumnya (filter pasif, filter aktif dan *hybrid filter*), namun dalam beberapa kondisi penggunaan *Series Line Reactor* dirasa kurang optimum karena hanya dapat mereduksi harmonisa arus. Dalam pengaplikasiannya *Series Line Reactor* dapat mereduksi THDi (*Total Harmonic Distortion Current*) sebesar 35% sedangkan tidak sama sekali untuk THDv (*Total Harmonic Distortion Voltage*)[3].

Dari permaslahan tersebut, penulis tergugah untuk menganalisa performa *Series Line Reactor* yang dimiliki PT Freeport Indonesia yang diimplementasikan pada motor PC-440 berupa *Safety Cyclone Feed Pump* dengan filter *hybrid* yang terdiri dari filter aktif seri dan filter pasif shunt. Dalam jurnal yang telah diteliti oleh F.Z.Peng, Hirofumi Akagi dan A.Nabae dari *Nagaoka University of Technology Japan* menyebutkan bahwa kelebihan dari filter *hybrid* yang terdiri dari komponen filter aktif seri dan filter pasif paralel dapat mengkompensasi harmonisa untuk VA yang besar pada beban. Fungsi filter aktif yang dikoneksi secara seri bukan untuk mengkompensasi harmonisa, tetapi untuk meningkatkan performa filterisasi dari filter pasif *shunt*. Pada kali ini penulis akan menggunakan Software *PSCAD Power Simulation 4.5* sebagai pengkomparasi performa *Series Line Reactor* yang terdapat di PT Freeport Indonesia dengan *Filter Hybrid*[4].

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana performa *Series Line Reactor* dalam mereduksi harmonisa pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia?
2. Bagaimana performa filter *hybrid* dalam mereduksi harmonisa pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia?
3. Bagaimana komparasi performa *Series Line Reactor* yang dimiliki Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia dengan *Hybrid Filter* dalam mereduksi harmonisa Motor PC-440 yang ada di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia?

Dari permasalahan di atas maka makalah ini berjudul:

IMPLEMENTASI *HYBRID FILTER* DALAM MEREDUKSI HARMONISA TERHADAP UNJUK KERJA VSD (*VARIABLE SPEED DRIVE*) PADA MOTOR *SAFETY CYCLONE FEED PUMP* PC-440 DI *CONCENTRATOR 3* PT FREEPORT INDONESIA

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka, tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah

1. Menganalisa performa *Series Line Reactor* pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.
2. Menganalisa performa *Hybrid Filter* pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.
3. Mengkomparasi performa dari *Series Line Reactor* milik Motor PC-440 dengan *Hybrid Filter* dalam mereduksi harmonisa pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

1. *Study Case* dalam penelitian ini adalah sistem kelistrikan pada Motor PC-440 berupa *Safety Cyclone Feed Pump* di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.
2. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*.
3. Rancangan filter harmonisa yang akan dikomparasi adalah *Series Line Reactor* dan filter *hybrid* dengan kombinasi filter aktif seri dan filter pasif shunt.
4. Analisis dan standar yang digunakaan pada penelitian ini adalah sistem dalam keadaan *steady-state*.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Kajian literatur

   Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.
2. Pengumpulan Data

   Bentuk data yang digunakan adalah :
   - Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung berupa data *load flow (PSCAD 4.5 power simulation)*.

- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini O*ne Line Diagram Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.

3. Menganalisa data – data yang telah dikumpulkan berupa data-data pada Motor PC-440 yang berada di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia yang telah dikonfigurasi dengan *Series Line Reactor*.
4. Memasang *Hybrid Filter* pada Motor PC-400 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.
5. Menguji dan membandingkan harmonisa dari pemasangan *Series Line Reactor* pada Motor PC-440 yang berada di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia dengan *Hybrid Filter* yang didesain dan diterapkan pada Motor PC-440 yang ada di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.
6. Kesimpulan

   Menarik kesimpulan dari hasil analisa data.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan didalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Pengertian tentang teori harmonisa berupa sumber harmonisa, indeks harmonisa dan *Total Harmonics Distortion (THD)*. Penjelasan tentang *Series Line Reactor*. Penjelasan mengenai filter aktif berupa Filter *Hybrid* terutama Filter *Hybrid* dengan konfigurasi Filter Aktif Seri dan Filter Pasif *Shunt*.

BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PADA MOTOR ASINKRON PC-440 DI *CONCENTRATOR 3* PT FREEPORT INDONESIA

Pada bab ini menjelaskan tentang sistem kelistrikan dan performa penggunaan *Series Line Reactor* yang ada di Motor PC-440 pada *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.

BAB IV : ANALISIS SISTEM DAN SIMULASI

Pada bab ini berisi data dan hasil simulasi dari *PSCAD/EMTDC Power Simulation* terhadap pemasangan *Hybrid Filter* pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia beserta komparasi saat penggunaan *Series Line Reactor* pada Motor PC-440 di *Concentrator 3* PT Freeport Indonesia.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Motor Asinkron Tiga Fasa [4]

Motor asinkron merupakan motor yang sering digunakan dalam dunia industri. Motor asinkron merupakan motor yang mempunyai perbedaan kecepatan pada kecepatan putar medan magnet pada stator dan kecepatan putar rotor. Motor asinkron sering digunakan di dunia industri karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat serta dapat diatur kecepatannya karena kecepatan putarannya dapat diatur. Jenis motor asinkron diantaranya motor asinkron dengan *squirell cage rotor* dan *wounded rotor*. Motor asinkron yang biasa digunakan biasanya motor asinkron dengan *squirell cage rotor*. Penggunaan motor asinkron dalam dunia industri biasanya diaplikasikan pada pompa, konveyor, kompresor, *grinder* dll.

Pada prinsip kerjanya, motor asinkron dapat berputar karena kecepatan medan putar magnet yang didapat dari sumber listrik AC di stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar sinkron di sekitar rotor. Rotor yang juga menghasilkan medan magnet kedua akan berputar melawan pengaruh medan magnet stator yang menyebabkan rotor berputar. Perbedaan antara dua kecepatan dari medan putar magnet stator dan rotor akan menyebabkan slip yang disebabkan oleh meningkatnya beban mekanik yang ditopang oleh motor asinkron.

Perbedaan kecepatan medan putar pada stator dan kecepatan rotor dirumuskan sesuai dengan rumus di bawah.

$$s = \frac{Ns - Nr}{Ns} \; x \; 100\%$$

Dimana :

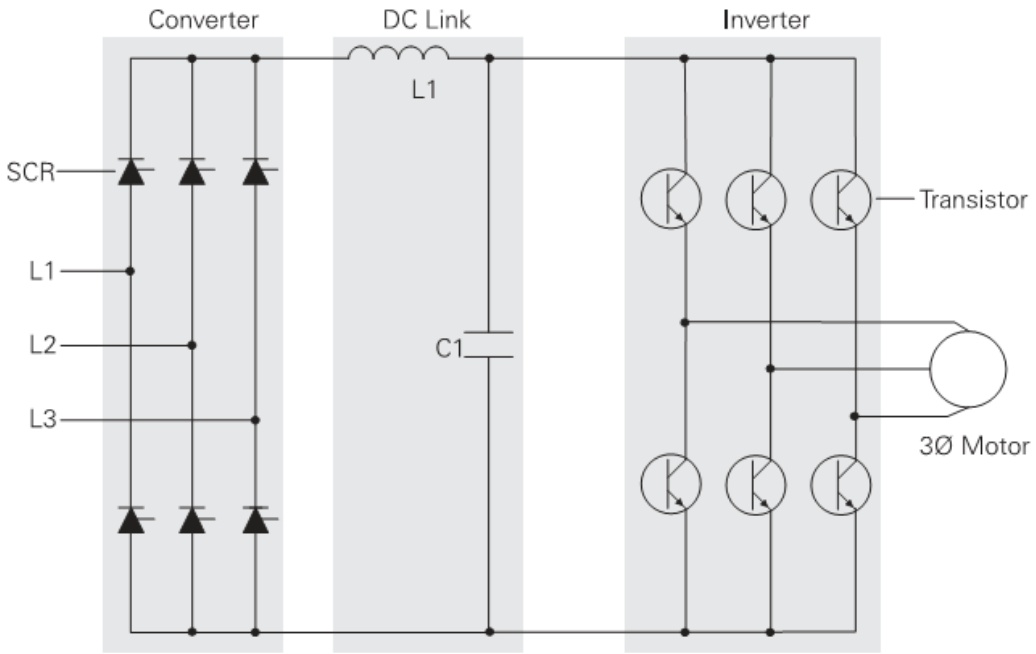
S = Slip

Ns = Kecepatan Stator (Rpm)

Nr = Kecepatan Rotor (Rpm)

2.2. *Variable Speed Drive (VSD)* [6]

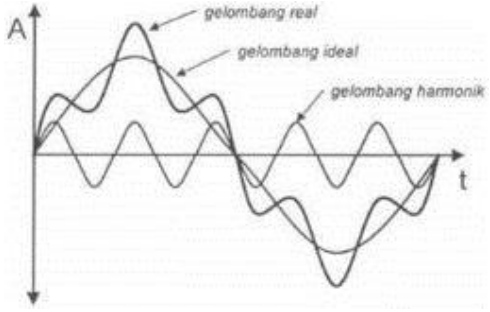
VSD merupakan komponen elektronika daya yang mengatur kecepatan motor asinkron dengan memotong lebar pulsa dari gelombang sinusoidal gelombang AC. Prinsip kerjanya yaitu dengan menyearahkan gelombang AC menjadi DC menggunakan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*). Setelah gelombang sinusoidal menjadi DC kemudian melewati rangkaian elektronika daya berupa kapasitor dan induktor sebagai filter gelombang karena masih terdapat *ripple*. Tegangan dan arus yang telah menjadi DC kemudian dikonversi lagi menjadi AC dengan penggunaan IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Penggunaan IGBT ini merekayasa gelombang DC agar serupa dengan gelombang AC yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal melalui *switching* IGBT. Dimana *switching* IGBT dilakukan oleh kontroler yang tertanam pada prosesor VSD. Demikian pula dalam menyearahkan gelombang AC 3 fasa SCR juga akan melakukan *switching* yang dilakukan oleh kontroler yang tertanam pada prosesor VSD.



Gambar 2.1 Rangkaian *Variable Speed Drive (VSD)*

2.3. Harmonisa [7]

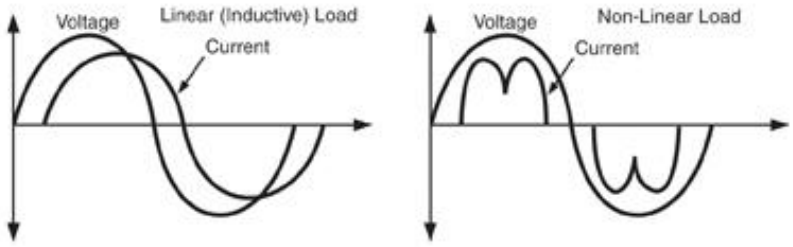
Harmonisa adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya (f, 2f, 3f, dst). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa (h1, h2, dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya. Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk non sinusoidal.



Gambar 2.2 Bentuk Gelombang dari Harmonisa

2.3.1. Sumber-sumber Harmonisa [8]

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada sistem tenaga elektrik terdiri dari 2 macam yaitu berupa beban *linear* dan beban *non-linear*. Beban *linear* berupa beban yang bersifat resistif sehingga arus dan tegangannya tidak saling mendahului pada gelombang sinusoidalnya. Sedangkan beban *non-linear* berupa beban-beban kapasitif, induktif dan beban lain pada komponen elektronika daya seperti *thrystor*, *diode*, dll. Karakteristik beban *non-linear* yang mana gelombang sinusoidal dari arus dan tegangannya saling mendahului. Hal tersebut merupakan penyebab utama terjadinya distorsi gelombang harmonisa.



Gambar 2.3 Gelombang beban linier dan non linier

2.3.2. Indeks Harmonisa [9]

Standarisasi batas distorsi harmonisa untuk tegangan dan arus yang merupakan standar IEEE Standard 519-1992 ditunjukan oleh tabel di bawah.

Tabel 2.1 Batas Distorsi Harmonisa pada Tegangan

Voltage (kV)	Individual voltage distortion (%)	Individual voltage distortion (%)
≤69	3.0	5.0
69 - 161	1.5	2.5
>161	1.0	1.5

Tabel 2.2 Batas Distorsi Harmonisa pada Arus

I_{SC}/I_L	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

2.3.3 *Total Harmonic Distortion* (THD) [10]

Total Harmonic Distortion merupakan indeks untuk menentukan nilai harmonisa yang ada pada suatu sistem baik berupa nilai tegangan maupun arus yang terdistorsi. Nilai THD yang ditentukan oleh IEEE telah penulis paparkan pada sub bab sebelumnya, apabila harmonisa pada peralatan dengan rating tegangan dan arus yang terdistorsi melebihi THD maka akan menyebabkan cepatnya destruksi pada komponen itu sendiri.

Adapun perhitungan besarnya THD Tegangan dan Arus adalah sebagai berikut [3]:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\propto} Vh^2}}{V_F} \qquad (3)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\propto} Ih^2}}{I_F} \qquad (4)$$

V_h ; I_h = Komponen Harmonisa

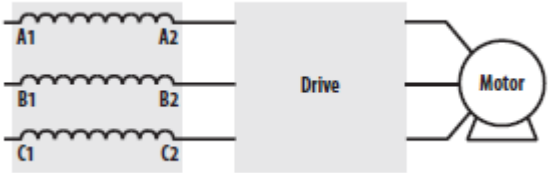
V_f ; I_f = Komponen Fundamental

2.4. *Series Line Reactor* [11]

Series Line Reactor merupakan komponen elektronika daya yang sering digunakan pada sistem kelistrikan perusahaan, selain bentuknya yang sederhana *Series Line Reactor* juga mudah dalam pengkonfigurasiannya karena hanya menggunakan komponen Induktor yang dikonfigurasi secara seri. Menurut fungsinya yang terdapat pada *Manual Book 1321 Power Conditioning Product* keluaran dari produsen peralatan listrik ternama asal Amerika Serikat *Allen-Bradley*, *Series Line Reactor* dapat dipasang sebelum VSD (*Incoming Side*), setelah VSD (*Outgoing Side*), dengan multipel VSD dan multipel motor.

A. *Incoming Side* VSD

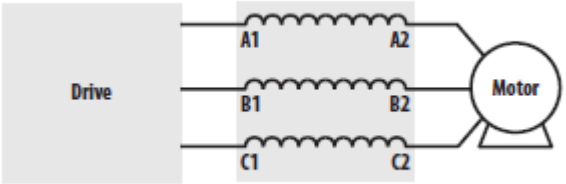
   Pemasangan *Series Line Reactor* pada sisi *incoming* VSD berfungsi menghilangkan gangguan yang menyebabkan *trip* pada *breaker*, memperpanjang umur konduktor, mereduksi harmonisa dan meningkatkan faktor daya.



Gambar 2.4 Konfigurasi *Series Line Reactor* pada *Incoming Side* VSD

B. *Outgoing Side* VSD

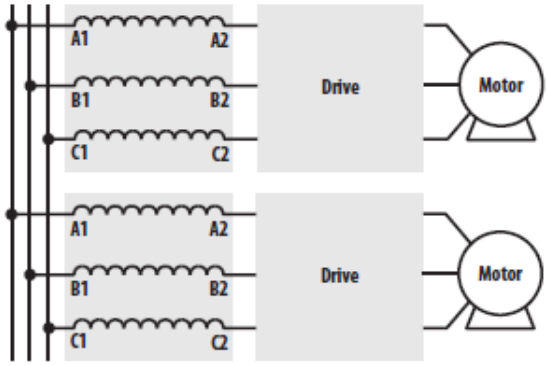
Pemasangan *Series Line Reactor* pada sisi *outgoing* VSD berfungsi untuk melindungi motor dari efek *leading* yang panjang, mengurangi arus surja yang disebabkan perubahan fluktuatif pada beban motor, mereduksi temperatur motor, mengurangi gangguan suara pada motor yang disebabkan oleh gangguan-gangguan elektris dan memperpanjang umur konduktor.



Gambar 2.5 Konfigurasi *Series Line Reactor* pada *Outgoing Side* VSD

C. *Multiple* VSD

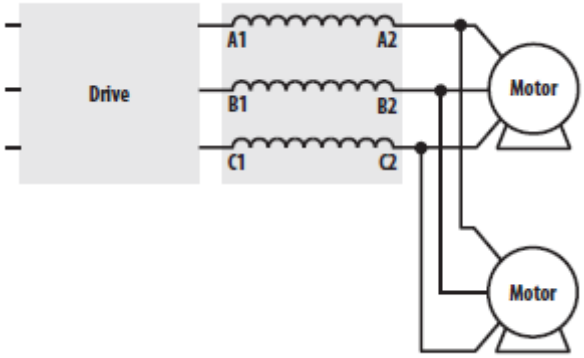
Pada konfigurasi ini, *Series Reactor Line* dapat diaplikasikan untuk beberapa VSD yang terdapat dalam 1 line sumber tenaga. Pengkonfigurasiannya setiap *Series Line Reactor* dipasang secara seri pada sisi *incoming* dari VSD. Penggunaan *Series Line Reactor* dengan konfigurasi ini berfungsi meningkatkan performa *filtering* harmonisa pada setiap VSD dan mengurangi adanya salah koordinasi dalam memberikan proteksi surja pada setiap VSD apabila 2 VSD hanya dikonfigurasi dengan 1 *Series Line Reactor*.



Gambar 2.6 Konfigurasi *Series Line Reactor* dengan Aplikasi *Multiple* VSD pada 1 Line Sumber

D. *Multiple* Motor

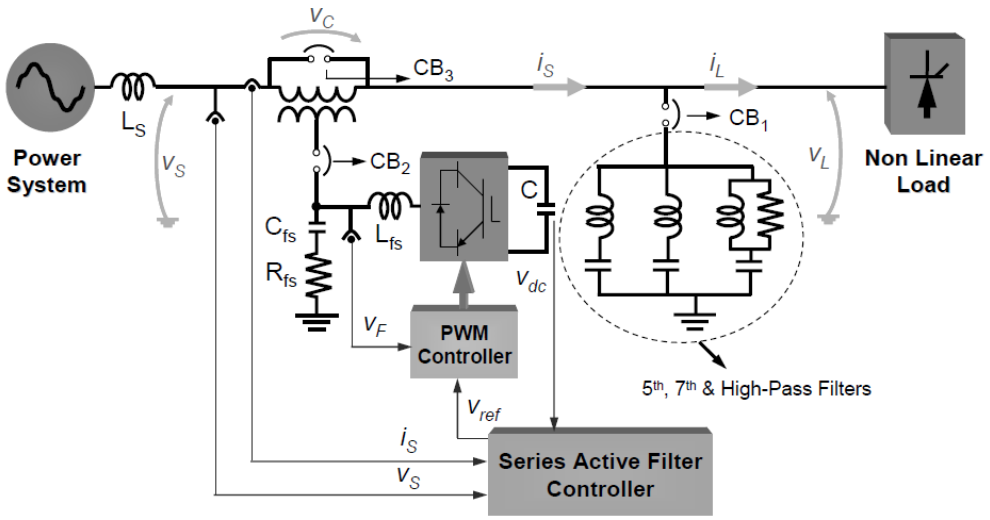
Ketika VSD melayani beban elektris lebih dari 1 motor, maka *Series Line Reactor* dapat dipasang secara seri diantara VSD dan motor. Besar lilitan dari *Series Line Reactor* bergantung pada total daya elektris motor yang dioperasikan oleh VSD atau dapat juga dapat bergantung dari total daya mekanis dari motor-motor yang dioperasikan oleh VSD.



Gambar 2.7 Konfigurasi *Series Line Reactor* dengan Aplikasi *Multiple* Motor dengan 1 VSD

2.6. Filter *Hybrid*[12]

Filter *Hybrid* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah menggunakan filter *hybrid* dengan konfigurasi filter aktif seri dan filter pasif paralel. Filter *hybrid* ini dapat diimplementasikan untuk kompensasi harmonisa pada beban dengan VA yang besar terutama untuk dioda dan *thyristor* yang biasa diaplikasikan pada komponen-komponen elektronika daya di industri. Fungsi dari filter aktif yang ada pada filter *hybrid* ini bukan untuk menreduksi harmonisa yang ada pada sistem, tetapi lebih untuk meningkatkan performa filterisasi dari filter pasif *shunt*. Berikut merupakan konfigurasi dari pemasangan filter *hybrid* pada sistem.



Gambar 2.8 Konfigurasi Filter *Hybrid*

Pada filter aktif yang terdapat pada rangkaian juga bertindak untuk mengurangi resistansi dan menghilangkan harmonisa pada filter pasif *shunt*. Rangkaian filter pasif terdiri dari IGBT (*Insulated Gate Bipolar Thyristor*) yang diatur oleh PWM (*Pulse Width Modulation*) *Controller* yang mana PWM diatur oleh pengendali yang terdiri dari rumus-rumus matematis yang utama adalah transformasi alpha-beta atau juga disebut transformasi *clarke*. Transformasi alpha-beta diterapkan sebagai pemberi sinyal referensi sebagai kontrol pada inverter 3 fasa.

Transformasi alpha-beta pada rangkaian 3 fasa dalam bentuk matriks yang ditunjukan berikut.

$$I_{\alpha\beta\gamma} = T\, I_{abc} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

Adapun Invers dari transformasi alpha-beta diatas yaitu.

$$I_{abc} = T^{-1}\, I_{\alpha\beta\gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_\gamma \end{bmatrix}$$

2.7. *PSCAD 4.5 POWER SIMULATION* [13]

Software yang penulis gunakan untuk mengkomparasi performa filter pasif dan filter *hybrid* menggunakan PSCAD 4.5 *Power Simulation*. Pada software tersebut dapat digunakan untuk menvisualisasikan grafik gelombang sinusoidal yang terdistorsi oleh harmonisa dan THD.

Dalam PSCAD juga terdapat contoh filter *hybrid* berupa filter aktif yang dipasang secara seri dan filter pasif yang dipasang secara paralel. Dimana rangkaian dari filter aktif dan pengontrolnya merupakan hasil referensi dari penelitian F.Z. Peng, H. Akagi dan A.Nabe dari *Nagaoka University of Technology Japan* dengan jurnal yang berjudul "*A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems - A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters*".

3. METODE PENELITIAN

1. Mulai.
2. Menggambar *One Line Diagram*.
3. Input Data : Data *Power* Grid, Data Transformator, Data Motor PC-440.
4. Menjalankan *load flow analysis* dan melihat performa Motor PC-440 ketika tidak terdapat *Series Line Reactor* maupun *Hybrid Filter*. Setelah dilakukan *load flow analysis* terdapat 2 metode yang akan digunakan pada langkah selanjutnya yaitu:
   a. Filter Pasif

      Dalam penggunaan *Series Line Reactor* penulis akan melakukan langkah-langkah sebagai berikut.

      i. Masukan data nilai lilitan dari induktor dari *Series Line Reactor* yang sudah terpasang pada Motor PC-440.
      ii. Menjalankan simulasi *Harmonic Analysis*.
      iii. Hasil dan analisis hasil dari efek pemasangan *Series Line Reactor*.

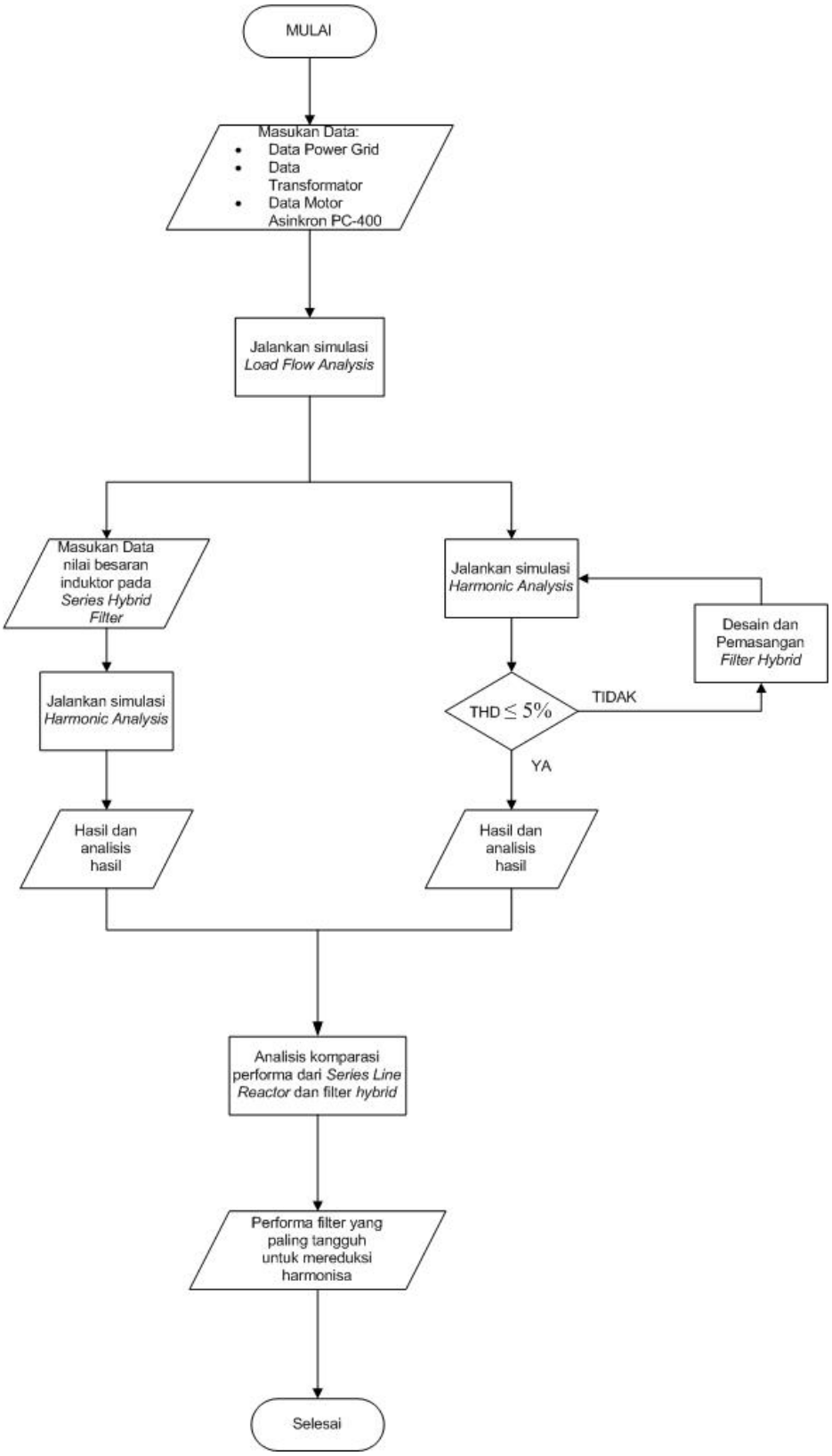
   b. Filter *Hybrid*

      Dalam penggunaan filter *hybrid* penulis akan melakukan langkah-langkah sebagai berikut.

      i. Desain dan pemasangan filter *hybrid* pada sistem kelistrikan Motor PC-440.
      ii. Menjalankan simulasi *Harmonics Analysis*.
      iii. Mengecek apakah nilai *Total Harmonic Distortion* ≤ 5%
         - ✓ Ya : Cek hasil dan analisis dari efek pemasangan filter *hybrid*.
         - ✓ Tidak : Lakukan pendesainan ulang dan pemasangan filter *hybrid* pada sistem kelistrikan motor asinkron PC-440. Setelah itu jalankan simulasi *Harmonics Analysis* untuk mengetahui keadaan sistem setelah pendesainan ulang filter *hybrid*.
5. Menganalisa dan mengkomparasikan performa *Series Line Reactor* dengan filter *hybrid*.
6. Kesimpulan berupa performa filter yang paling tangguh untuk mereduksi harmonisa.
7. Selesai.

Yang di tunjukan pada Flow Chart di bawah ini:

3.1. *FLOWCHART*



Gambar 3.1. *Flowchart*

DAFTAR PUSTAKA

[1] F.Z.Peng, H.Akagi, A.Nabae,"*Compensation Characteristics of the Combined System of Shunt Passive and Series Active Filter*", Nagaoka University of Technology, Japan, 1992

[2] J.G. Pinto, R.Pregitzer, Luis F.C. Monteiro, Carlos Couto and Joao. L. Alfonso, "*A Combined Series Active Filter and Passive Filters for Harmonics, Unbalances and Flicker Compensation*": Powereng, 2007.

[3] Rahman Efandi, Margo Pujiantoro, R. Wahyudi, "*Studi Perencanaan Filter Hybrid untuk Mengurangi Harmonisa pada Proyek Pakistan Deep Water Container Port*", ISSN:2337-3539. 2015.

[4] IEEE Standards Board (1995), "IEEE Std. 1159-1995", IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality". IEEE Inc. New York.

[5] *IEEE Recommended Practices and Requirements of Harmonics Control in Power System*. IEEE Standard 519-1992, June 1992.

[6] Yusak Tanoto, Limboto Limantara and Christian Khandy Lestanto, "*Simulasi Active Filter dan Sistem Kerja Rangkaian dalam Meredam Harmonisa pada Vacuum Casting Induction Furnance dengan Daya 9 kW, 13.8 kVA, 200 V, 3 Fasa, 50/60 Hz" ,*Universitas Kristen Petra. Maret 2005.

[7] N. S. Tunaboylu, E. R. Collins, Jr., and P. R. Chaney, "*Voltage Disturbance Evaluation Using the Missing Voltage Technique*", in *Proc. 8th Int. Conf. Harmonics and Quality of Power " ,* 1998, pp. 577–582.

[8] RC. Dugan, "*Electrical Power System Quality"*, McGraw-Hill, New York, 1996.

[9] Roger C. Dugan, Surya Santoso, Mark F. McGranaghan, and H. Wayne Beaty, "Electric Power Systems Quality", *McGraw-Hill*, 2nd Edition, 2002.

[10] *Technical Data 1321 Power Conditioning Products*. Rockwell Automation Publication 1321-TD001P-EN-P, May 2015.