

Analisis Simulasi Perubahan Frekuensi *Switching* Pada Inverter Satu Fasa 220 Volt/50 Hz

Muhammad Furqan¹, Mahdi Syukri², Syukriyadin³, Alfisyahrin⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹muhammadfurqans01@gmail.com

²mahdisyukri@unsyiah.ac.id

³syukriyadin@unsyiah.ac.id

⁴alfisyahrin@unsyiah.ac.id

Abstrak— *Inverter* merupakan sebuah rangkaian yang berfungsi sebagai pengubah tegangan searah (VDC) menjadi tegangan bolak – balik (VAC). *Inverter* terbaik yaitu *inverter* yang mampu menghasilkan gelombang sinusoidal murni, harmonisa yang rendah dan drop tegangan yang kecil. Namun, kondisi tersebut seringkali tidak terpenuhi dikarenakan beberapa factor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan frekuensi *switching* dengan THD rendah pada *inverter* 220V/50Hz. Simulasi dilakukan menggunakan Simulink Matlab dengan pengaturan frekuensi *carrier* berbeda untuk 6 kHz, 10 kHz, 14 kHz, 18 kHz dan 20 kHz. Hasil simulasi yang didapat menunjukkan frekuensi *carrier* terbaik sebesar 6 kHz menghasilkan gelombang sinusoidal dengan THD sebesar 1,01% dan tegangan keluaran 219,6V menggunakan filter pasif LC dimana $L = 31,84$ mH dan $C = 796,1$ nF. Frekuensi *carrier* yang semakin besar dapat menghasilkan harmonisa yang lebih baik apabila digunakan filter yang besar. Dengan demikian, THD tegangan yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar IEEE: 519-2014 yaitu di bawah 5%.

Kata Kunci—: *Inverter*, *VDC*, *Filter*, *Frekuensi Carrier*, *VAC*.

I. PENDAHULUAN

Inverter satu fasa merupakan sebuah rangkaian yang mampu merubah tegangan DC sehingga menjadi tegangan AC pada *inverter* satu fasa dan ada juga untuk *inverter* tiga fasa. *Inverter* juga sangat banyak dibutuhkan untuk merubah bentuk tegangan yang digunakan pada berbagai alat yang membutuhkan perubahan bentuk tegangan contohnya pada UPS, pengendali motor induksi, sel bahan bakar, panel surya, pembangkit listrik hibrida, turbin angin, turbin air dll.

Tegangan searah dapat berubah menjadi tegangan bolak – balik dengan menggunakan cara yang umum dilakukan yaitu dengan membolak - balikan arah aliran tegangan searah dengan menggunakan saklar sehingga menghasilkan tegangan bolak - balik yang berbentuk gelombang kotak, gelombang kotak yang diterima tidak akan menjadi gelombang sinusoidal tanpa adanya filter. Penggunaan filter

pasif pada *inverter* agar dapat mengurangi harmonisa dengan cara mereduksinya, sehingga dapat menghasilkan tegangan bolak – balik yang mendekati murni atau sinusoidal murni. Oleh karna itu penggunaan filter sangat dibutuhkan pada *inverter*, agar membuatnya persis gelombang sinusoidal dapat menggunakan elemen penyimpan energi berupa induktor dan kapasitor yang digunakan sebagai pelancar aliran listrik, namun secara prakteknya gelombang yang diharapkan dari hasil *inverter* jarang diperoleh karena adanya harmonisa yang dapat menyebabkan kerugian – kerugian berupa gangguan pada operasi peralatan lainnya, arus netral tidak aman, memperpendek usia motor pada pengendali motor induksi dikarenakan dapat menimbulkan resonansi mekanika yang dapat menyebabkan suara dengungan atau suara riuh dan dapat menyebabkan tersendat – sendat putaran motor yang dapat mengurangi factor daya.

Dari penelitian sebelumnya dengan melakukan simulasi menggunakan komputer didapatkan hasil bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan semakin baik hasil akhir bentuk gelombang tegangannya dengan menentukan frekuensi *carrier* pada simulasi computer. Namun pada penelitian ini penulisnya tidak mengukur lebih detail mengenai parameter yang beragam (frekuensi, modulasi, bentuk tegangan, komponen elektronik, dll) selain itu juga tidak melakukan pengamatan pada besaran – besaran yang beragam[1]. *Inverter* merupakan sebuah rangkaian yang berfungsi sebagai pengubah tegangan searah (VDC) menjadi tegangan bolak – balik (VAC). *Inverter* terbaik yaitu *inverter* yang mampu menghasilkan gelombang sinusoidal murni, harmonisa yang rendah dan drop tegangan yang kecil. Namun, kondisi tersebut seringkali tidak terpenuhi dikarenakan beberapa factor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan frekuensi *switching* dengan THD rendah pada *inverter* 220V/50Hz. Simulasi dilakukan menggunakan Simulink Matlab dengan pengaturan frekuensi *carrier* berbeda untuk 6 kHz, 10 kHz, 14 kHz, 18 kHz dan 20 kHz. Hasil simulasi yang didapat menunjukkan frekuensi *carrier* terbaik sebesar 6 kHz menghasilkan gelombang sinusoidal dengan THD sebesar 1,01% dan tegangan keluaran 219,6V menggunakan filter pasif LC

dimana $L = 31,84 \text{ mH}$ dan $C = 796,1 \text{ nF}$. Frekuensi *carrier* yang semakin besar dapat menghasilkan harmonisa yang lebih baik apabila digunakan filter yang besar. Dengan demikian, THD tegangan yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar IEEE: 519-2014 yaitu di bawah 5%.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi inverter satu fasa dengan frekuensi *carrier* yang beragam, dimulai dari 6 Khz, 10 Khz, 14 Khz, 18 Khz dan 20 Khz, dengan pemilihan variabel tersebut diharapkan sesuai dengan kebutuhan pada komponen aslinya, karena kebanyakan inverter konvensional biasanya hanya menggunakan nilai frekuensi *carrier* tersebut.

Penggunaan filter dan frekuensi *carrier* pada inverter satu fasa bertujuan untuk mengetahui berkurang atau bertambahnya harmonisa, maka dilakukanlah peneliatian terhadap nilai filter dan frekuensi *carrier* yang berbeda – beda untuk dapat mengetahui nilai filter dan frekuensi *carrier* yang terbaik untuk menghasilkan gelombang sinusoidal murni pada inverter satu fasa.

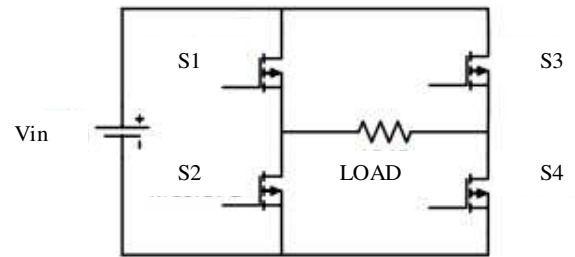
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Inverter

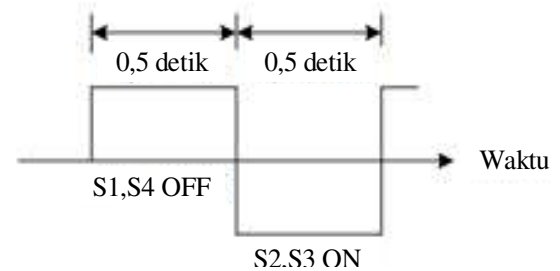
Inverter merupakan suatu rangkaian yang mampu merubah tengangan searah (VDC) menjadi tengangan bolak – balik (VAC). Pembentukan gelombang yaitu sebuah cara yang dilakukan inverter untuk mengubah bentuk gelombang dari tegangan searah menjadi bentuk tegangan bolak – bolak. Hasil dari penggunaan inverter menghasilkan gelombang yang berbentuk kotak, bukan gelombang yang bentuknya sinusoidal. Penggunaan empat saklar yang menyebabkan tegangan AC yang gelombangnya berbentuk kotak.

Untuk mendapatkan hasil arus bolak – balik, Penggunaan empat saklar yang dimulai dari S1 hingga saklar S4 dengan cara mensuplai tegangan DC terhadap empat saklar secara bergantian, dan menghasilkan gelombang berbentuk kotak dari penggunaan keempat saklar tersebut. dapat diamati pada Gambar 1 rangkaian *full bridge* inverter satu fasa, Tegangan positif dihasilkan pada saat saklar S1 aktif bersamaan dengan saklar S4 sehingga mengalirnya arus dari titik A hingga ke titik B, dan tegangan negatif dihasilkan pada saat saklar S2 aktif bersamaan dengan saklar S3 sehingga mengalirnya arus dari titik B hingga ke titik A.

Dapat dilihat pada Gambar 2 bentuk gelombang AC 1 Hz Arus yang menuju ke beban dapat diganti (mengaliri arus A ke B pada setengah tahap pertama dan tahap kedua mengalir arus B ke A pada setengah periode berikutnya) berfungsi untuk menghasilkan gelombang berbentuk bolak – balik. Mengatur keluaran frekuensi inverter dengan mengatur OFF – ON pada saklar, contohnya dengan mengatur keempat saklar yaitu pada saat Saklar 1 dan Saklar 4 ON dan OFF pada Saklar 2 dan Saklar 3 dengan waktu 0,5 detik maka akan menghasilkan frekuensi 1 Hz dengan gelombang berbentuk bolak-balik [3].



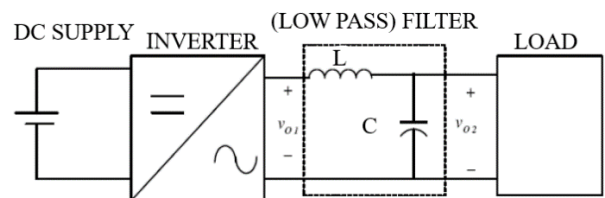
Gambar 1 Rangkaian Full Bridge Inverter Satu Fasa



Gambar 2 Bentuk gelombang AC 1 Hz

B. Fungsi Inverter

Inverter berfungsi untuk menyediakan suplai AC 220V tanpa gangguan ke beban yang tersambung ke outputnya dan menyediakan suplai AC konstan pada outputnya, bahkan ketika suplai utama AC tidak tersedia. Rangkaian inverter merupakan kombinasi dari rangkaian charger dan baterai, sirkuit pengisi daya membuat baterai tetap terisi ketika catu daya tersedia dan ketika AC utama tidak berkerja, rangkaian inverter mengambil daya DC yang tersimpan dalam baterai dan mengubahnya menjadi suplai AC 220V / 50Hz, yang dapat digunakan untuk menyalakan elektronik umum atau sistem computer, dapat dilihat pada Gambar 3.

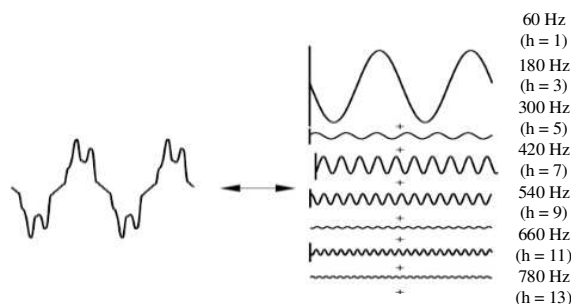


Gambar 3 Blok Diagram Inverter Secara Umum

Sebagian besar peralatan listrik bekerja dengan suplai AC 220V tetapi secara internal, rangkaianannya bekerja pada suplai DC. Karenanya suplai AC eksternal diubah menjadi suplai DC oleh unit peralatan catu daya ini. Perangkat apa pun yang bekerja dengan suplai DC dapat digunakan selama pemutusan aliran listrik dengan menghubungkannya ke baterai, tapi baterai memiliki masa pakai tetap dan menjalankan peralatan yang memakan daya penggunaan baterai yang mahal, Oleh karena itu baterai pengisian ulang mampu mengurangi penggunaan biaya berlebih ketika situasi seperti ini. Inverter digunakan untuk menyalakan perangkat yang tidak memiliki fasilitas untuk disambungkan ke sumber daya DC atau perangkat yang membutuhkan sumber listrik AC untuk pengoperasiannya.

C. Harmonisa

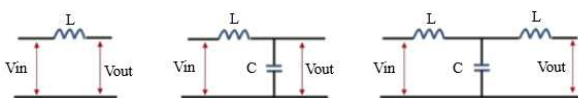
Harmonisa adalah kecacatan atau gangguan gelombang yang terjadi karena interaksi antara gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain memiliki frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya. harmonik adalah sebuah masalah dari sekian banyak masalah yang sangat mengganggu pada kualitas daya listrik, harmonik memiliki standar yaitu pada *IEEE 519-1992* apabila melebihi batas standar akan sangat mengganggu dan bahkan sangat merugikan sistem sehingga harus mengikuti batas standarnya. Pada Gambar 4 dapat diamati Tampilan Deret *Fourier* dari Gelombang Terdistorsi.[5]



Gambar 4 Tampilan deret fourier dari gelombang terdistorsi database

D. Filter Pasif LC

Dalam inverter solid-state, saklar selalu hidup dan mati secara berlawanan dalam satu kaki inverter. Oleh karena itu, tegangan bus DC positif atau negatif diterapkan ke output. Pulsa tegangan saklar berada pada frekuensi saklar yang konstan dan berisi berbagai harmonisa. Suara bising switching dan harmonisa frekuensi tinggi biasanya direndahkan oleh induktor dan kapasitor, yang dapat digabungkan dengan berbagai cara untuk membuat filter pasif, seperti: L-filter, LC-filter, T-filter, dan pi-filter. Filter pasif diterapkan pada beban penggerak catu daya solid-state yang membutuhkan bentuk gelombang sinusoidal yang bersih. Untuk frekuensi keluaran inverter yang dapat disetel, filter harus disetel ke frekuensi yang melebihi frekuensi dasar maksimum.



Gambar 5 Sirkuit konfigurasi filter.

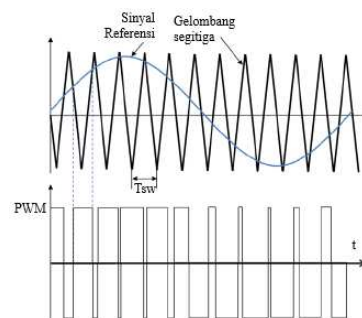
Karena filter LC menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada filter L dan tidak serumit filter LCL, filter LC yang sesuai untuk sistem yang dimaksudkan untuk digunakan dalam penelitian ini. Filter LC dapat memberikan output yang memadai kinerja dengan frekuensi pembawa 25 KHz. Filter LC dengan transformator terisolasi dapat memenuhi persyaratan batas harmonik dengan margin yang cukup.

LC Filter Ini mewakili filter orde dua yang memberikan -40 dB/dekade atenuasi. Dalam jenis filter ini, kapasitor shunt hadir untuk lebih melemahkan komponen frekuensi

switching. Kapasitor shunt harus dipilih untuk menghasilkan reaktansi rendah pada frekuensi switching, sambil menampilkan impedansi yang lebih tinggi dalam rentang frekuensi kontrol. Dalam kasus di mana sistem menggunakan transformator isolasi difrekuensi rendah sisi, filter LC dapat memenuhi persyaratan batas harmonik. [11]

E. PWM Sinusoidal

Sinyal referensi sinusoidal (sinyal modulasi), digabungkan dengan sinyal gelombang pembawa segitiga untuk menghasilkan sinyal pulsa gerbang pada titik-titik persimpangan antara sinyal modulasi dan sinyal pembawa, dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan prinsip pembangkitan sinyal gerbang switching dengan pembangkitan SPWM.



Gambar 6 Pembangkitan Sinusoidal PWM

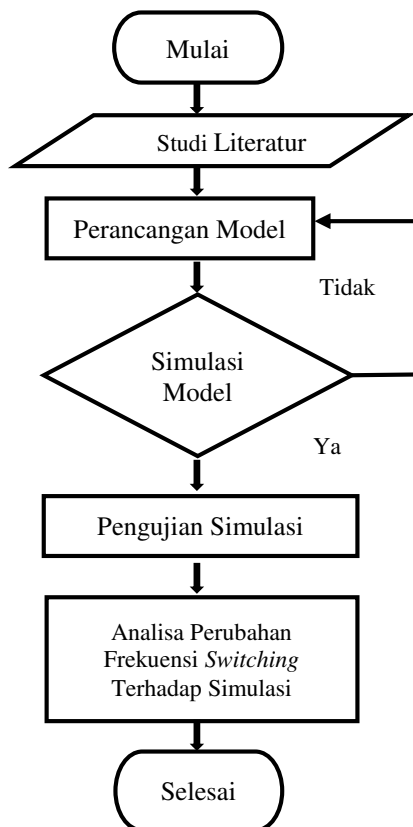
Indeks modulasi dapat divariasikan antara 0 dan 1 untuk memberikan hubungan linier antara gelombang modulasi dan besaran gelombang keluaran. Inverter pada dasarnya bertindak sebagai penguat linier dengan penguatan spesifik antara sinyal modulasi / referensi dan tegangan keluaran.[14]. Sinyal gelombang sinusoidal referensi memiliki sinyal kontrol. Rasio amplitudo gelombang referensi terhadap amplitudo gelombang segitiga disebut rasio modulasi amplitudo (ma) atau indeks modulasi [15].

III. METODOLOGI PENELITIAN

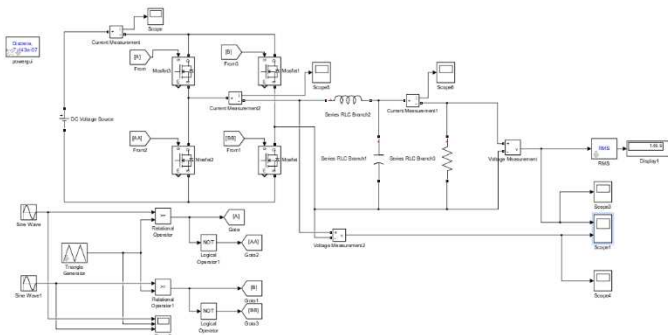
Gambar 7 merupakan diagram alir yang menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini. Penelitian dimulai dengan kaji literature, dilanjutkan dengan perancangan model, simulasi model, pengujian, dan analisa perubahan frekuensi switching terhadap simulasi.

A. Simulasi Sistem

Setelah melakukan proses studi literatur yang berguna untuk referensi penelitian yang diangkat, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pembuatan simulasi sistem inverter satu fasa sebagai pengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak – balik, dengan dibuatnya simulasi diharapkan dapat menganalisa dampak dari perubahan frekuensi *switching* yang nilai frekuensinya berbeda – beda pada simulasi *inverter* satu fasa, dan simulasi yang akan dirangkai dapat dilihat pada Gambar 8 Rangkaian inverter satu fasa menggunakan *software Simulink MATLAB*.



Gambar 7 Diagram alir tahapan penelitian



Gambar 8 Rangkaian inverter satu fasa menggunakan software Simulink MATLAB.

B. Penentuan Rasio Modulasi Amplitudo dan Filter LC

Dalam proses teknik modulasi SPWM yang diterapkan atau diaplikasikan menjadi program (source code), terlebih dulu dilakukan penentuan rasio modulasi amplitudo. Berikut dibawah ini merupakan perhitungan menggunakan persamaan 1.

$$ma = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (1)$$

$$ma = \frac{220 \text{ Volt}}{250 \text{ Volt}} = 0.88$$

Karena filter LC menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada filter L dan tidak serumit filter LCL, filter LC yang sesuai untuk sistem yang dimaksudkan untuk digunakan dalam penelitian ini. Filter LC dapat memberikan output kinerja yang memadai, adapun frekuensi *carrier* pada penelitian ini memiliki variable yang berbeda-beda dimulai dari 6 KHz, 10 KHz, 14 KHz, 18 KHz dan 20 KHz yang pastinya memiliki filter sesuai dengan nilai frekuensinya dan pada penelitian ini menggunakan beban R sebesar 200 watt. Berikut dibawah ini merupakan perhitungan untuk frekuensi 6 KHz. Frekuensi *cut-off* dipilih menjadi seperenam dari frekuensi *switching*.

$$L = \frac{R_{Load}}{2\pi f_c} \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_c R_{Load}}$$

$$f_c = \frac{f_{sw}}{6} = \frac{6000}{6} = 1000$$

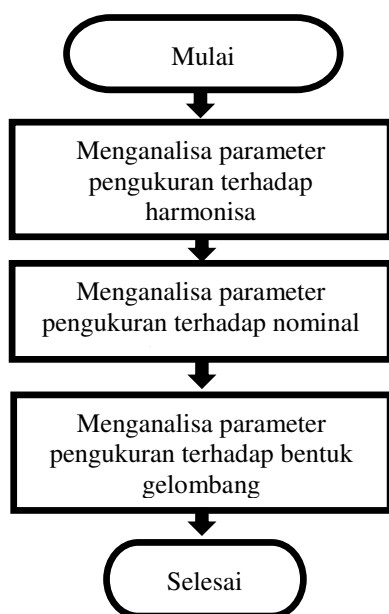
$$L = \frac{200}{2 \times 3,14 \times 1000} = 31,84 \text{ mH}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 1000 \times 200} = 796,1 \text{ nF}$$

Simulasi dinyatakan berhasil apabila frekuensi *carrier* dapat dirubah sesuai variable yang telah ditetapkan yaitu dari 6 kHz, 10 kHz, 14 kHz, 18 kHz dan 20 kHz dan *filter* pada simulasinya dapat dirubah dengan mengikuti perhitungan di atas kemudian baru dilakukan analisa.

C. Analisa Perubahan Frekuensi Switching Terhadap Inverter Satu Fasa

Setelah melakukan tahap pembuatan simulasi sistem, dilakukanlah analisa terhadap dampak yang terjadi dari perubahan frekuensi *switching* pada inverter satu fasa dengan parameter pengukuran terhadap nominal tegangan, bentuk gelombang dan juga harmonisanya, yang di harapkan dapat mengetahui dampak dari perubahan frekuensi *switching* yang menghasilkan dampak baik ataupun dampak yang buruk dari perubahan nilai frekuensi *switching* yang berbeda – beda pada inverter satu fasa. Gambar 9 merupakan diagram alir untuk analisa perubahan frekuensi *switching* terhadap *inverter* satu fasa. Analisa dimulai dengan parameter pengukuran terhadap harmonisa, dilanjutkan dengan analisis terhadap parameter pengukuran terhadap nominal, dan diakhiri dengan pengukuran terhadap bentuk gelombang.



Gambar 9 Diagram alir analisa perubahan frekuensi switching terhadap inverter satu fasa

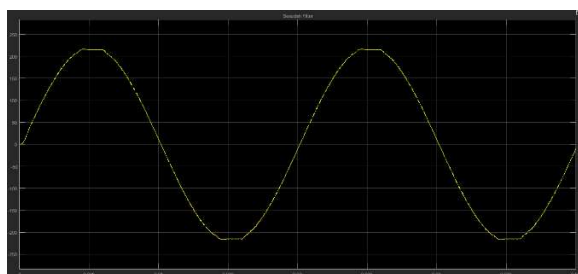
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Dengan Menggunakan Simulink MATLAB

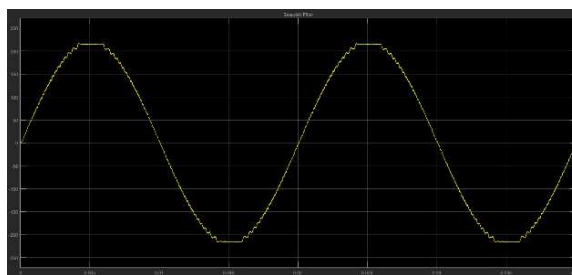
Pada simulasi ini inverter satu fasa menggunakan beban 200 watt, amplitudo 0,88, Tegangan input V_{dc} 250 volt dan frekuensi *carrier* yang berbeda – beda yaitu dimulai dari frekuensi *carrier* 6 kHz, 10 kHz, 14 kHz, 18 kHz dan 20 kHz dan menggunakan filter LC dengan nilai yang berbeda untuk setiap frekuensi cariernya

B. Hasil Bentuk Gelombang Dari Simulasi

Pada gambar 10 dan gambar 11 merupakan sinyal keluaran inverter setelah filter dengan frekuensi *carrier* 6 KHz dan 20 KHz, dapat dilihat bahwa pada 20 KHz gelombang tersebut memiliki riak yang lebih besar dari pada penggunaan frekuensi *carrier* 6 KHz yang gelombangnya mendekati sinusoidal murni, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa semakin kecil nilai frekuensi *carrier* maka bentuk gelombangnya semakin mendekati sinusoidal murni, dikarenakan filter yang digunakan semakin besar dan sistem kerja mosfetnya yang rendah dan mengurangi *switch losses* dan juga riak pada mosfet .



Gambar 10 Sinyal Keluaran Inverter Sesudah Filter Fsw 6 kHz



Gambar 12 Sinyal Keluaran Inverter Sesudah Filter Fsw 20 kHz

C. Hasil Harmonisa Pada Simulasi

Pada tabel 1 di bawah ini yaitu nilai THD_v dimulai dari frekuensi *carrier* 6 KHz, 10 KHz, 14 KHz, 18 KHz dan 20 KHz dengan perbandingan harmonisa antara inverter sebelum filter dan juga dengan inverter sesudah filter terhadap tegangan yang didapatkan dari simulasi menggunakan Simulink MATLAB.

TABLE I
DATA HASIL PENGARUH FREKUENSI CARRIER TERHADAP HARMONISA PADA TEGANGAN

Frekuensi <i>Carrier</i>	Filter Pasif LC		THD _v Sebelum Filter	THD _v Sesudah Filter
	L	C		
6 KHz	31,84 mH	796,1 nF	67,23%	1,01%
10 KHz	19,10 mH	477,7 nF	67,34%	1,03%
14 KHz	13,64 mH	341,2 nF	67,40%	1,12%
18 KHz	10,61 mH	265,3 nF	67,40%	1,25%
20 KHz	9,554 mH	238,8 nF	67,39%	1,30%

Frekuensi *carrier* yang di berikan kepada inverter akan mempengaruhi *total harmonic distortion* tegangan, dan dari tabel di atas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar frekuensi *carrier* maka semakin besar pula *total harmonic distortion* pada tegangan dikarenakan filter yang digunakan juga semakin kecil dan sistem kerja pada mosfet yang semakin tinggi yang menyebabkan terjadinya *switch losses* pada mosfet, dan harmonisa juga akan semakin tinggi.

D. Perbandingan Hasil Pengukuran Harmonisa Tegangan Dan Arus Dengan Standar IEEE 519-2014

Pada harmonisa memiliki standar total harmonic distortion tegangan ketika tegangan dibawah 1 kV paling tingginya 8,0 % dan untuk individual harmonic paling tingginya 5,0 %, standar total harmonic distortion arus 15,0 % dan individual harmonic ke 3 sampai 11 yaitu 12,0 %. Pada penelitian yang dilakukan “F. A. Samman” pada inverter setelah filter menghasilkan nilai yang sama pada THD tegangan dan THD arus karena pengaruh dari penggunaan modulasi amplitudo yang sama, pada penelitian ini menggunakan modulasi amplitudo yaitu pada nilai $M_a = 0.88$ [7].

TABLE II
DATA HASIL SIMULASI HARMONISA TEGANGAN DAN ARUS DENGAN
STANDAR IEEE 519-2014

Frek. Carrier	Sebelum Filter (%)		Sesudah Filter (%)		Standar IEEE 519-2014 (%)	
	THD V	THD I	THD V	THD I	THDV	THDI
6 Khz	67,23	4,61	1,01	1,01	5,0	15,0
10 Khz	67,34	4,65	1,03	1,03	5,0	15,0
14 Khz	67,40	4,71	1,12	1,12	5,0	15,0
18 Khz	67,40	4,76	1,25	1,25	5,0	15,0
20 Khz	67,39	4,78	1,30	1,30	5,0	15,0

Jadi pada penelitian ini frekuensi *carrier* yang menghasilkan harmonisa terendah yaitu 1,01% dan menghasilkan gelombang mendekati sinusoidal murni yaitu ketika 6 Khz, akan tetapi harus menggunakan filter yang besar, induktor 31,84 mH dan kapasitor 796,1 nF, ketika frekuensi *carrier* 14 Khz menghasilkan harmonisa 1,12% dan menggunakan filter yang sedang, induktor 13,64 mH dan kapasitor 341,2 nF, dan ketika frekuensi *carrier* 20 Khz, yang menghasilkan harmonisa yang paling besar yaitu 1,30 % dan menggunakan filter paling kecil, induktor 9,554 mH dan kapasitor 238,8 nF.

E. Hasil Nominal Tegangan Dan Arus Pada Simulasi

Pada simulasi ini dapat diketahui nominal tegangan dan arus yang dihasilkan oleh inverter satu fasa sesuai dengan frekuensi *carrier* yang diberikan, setiap variable frekuensi menghasilkan tegangan dan arus dengan nominal yang berbeda dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

TABLE III
DATA HASIL SIMULASI NOMINAL TEGANGAN DAN ARUS

Frekuensi Carrier	Fundamental Tegangan		Fundamental Arus	
	Sebelum Filter	Sesudah Filter	Sebelum Filter	Sesudah Filter
6 Khz	219,3 V	219,6 V	1,099 A	1,098 A
10 Khz	219 V	219 V	1,096 A	1,095 A
14 Khz	219,1 V	219,1 V	1,096 A	1,096 A
18 Khz	219 V	219 V	1,095 A	1,095 A
20 Khz	219 V	219,1 V	1,095 A	1,095 A

Pengaruh frekuensi *carrier* terhadap nominal tegangan dan arus, pada penelitian ini dapat dilihat hasil dari simulasi pada tabel 3 di atas bahwa pada frekuensi *carrier* 6 Khz menghasilkan nominal tegangan tertinggi yaitu 219,3 V dan arus 1,099 A, setelah filter tegangan menjadi 219,6 V dan arus 1,098 A, ketika frekuensi *carrier* 14 Khz menghasilkan nominal tegangan yaitu 219,1 V dan arus 1,096 A, setelah filter tegangan menjadi 219,1 V dan arus 1,096 A, ketika frekuensi *carrier* 20 Khz menghasilkan nominal tegangan yaitu 219 V dan arus 1,095 A, setelah filter tegangan menjadi 219,1 V dan arus 1,095 A. , tegangan yang didapatkan setelah penggunaan filter diharapkan akan menghasilkan tegangan yang semakin besar dikarenakan

pengaruh dari kapasitor yang berfungsi sebagai penyaring tegangan agar tegangan yang diharapkan akan semakin besar dan arus yang didapatkan setelah penggunaan filter diharapkan akan menghasilkan arus yang semakin kecil dikarenakan pengaruh dari induktor yang berfungsi sebagai penyaring arus agar arus yang diharapkan akan semakin kecil.

Pada inverter satu fasa ini tegangan yang diinginkan yaitu 220 V, sehingga dapat disimpulkan bahwa tegangan yang paling mendekati 220 V yaitu pada frekuensi *carrier* 6 Khz dengan nominal 219,6 V sehingga menjadi nominal tegangan terbaik yang dihasilkan inverter tersebut dengan perbandingan frekuensi *carrier* lainnya yang nilainya 219 V dan 219,1 V

F. Hasil Simulasi Dengan Frekuensi Carrier Berubah Dan Nilai Filter Tetap

Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh frekuensi *carrier* terhadap harmonisa dan tegangan pada inverter satu fasa, yang dimulai dari frekuensi *carrier* 6 Khz, 10 Khz, 14 Khz, 18 Khz dan 20 Khz, dan hanya menggunakan Filter yang tetap dan menggunakan filter terbesar, sehingga dapat mengetahui dampak dari pengaruh frekuensi *carrier* terhadap harmonisa dan tegangan.

Pada penelitian yang dilakukan “F. A. Samman” ” mengemukakan bahwa adanya pengaruh frekuensi *switching* terhadap harmonisa atau THD (*total harmonic distortion*), yaitu semakin besar frekuensi *switching* maka nilai harmonisa yang dihasilkan juga akan semakin kecil setelah penggunaan filter pasif LC [7].

TABLE IV
HASIL SIMULASI DENGAN FREKUENSI CARRIER BERUBAH DAN NILAI
FILTER TETAP

Frekuensi Carrier	Filter Pasif LC		Sesudah Filter	
	L	C	THDV	Fundamental Tegangan
6 Khz	31,84 mH	796,1 nF	1,01%	219,6 V
10 Khz			0,91 %	219,3 V
14 Khz			0,88 %	219,3 V
18 Khz			0,87 %	219,3 V
20 Khz			0,87 %	219,3 V

Dapat dilihat pada Tabel IV diatas yaitu data hasil simulasi dengan frekuensi *carrier* yang berubah dan nilai filternya tetap, bahwa pengaruh frekuensi *carrier* yang semakin besar akan mempengaruhi harmonisa, yang nilai harmonisanya semakin kecil dikarenakan pengaruh frekuensi *carrier* semakin besar dan menggunakan filter dengan ukurran yang besar maka akan membuat harmonisanya juga semakin baik, harmonisa sangat mempengaruhi bentuk gelombang yang akan mendekati sinusoidal murni dan pada data diatas menghasilkan nilai fundamental tegangan yang semakin kecil. Jadi dapat disimpulkan semakin besar frekuensi *carrier* maka nilai harmonisanya semakin kecil pula dikarenakan menggunakan filter dengan ukuran yang besar yaitu induktor L = 31,84 mH dan kapasitor C = 796,1 nF.

G. Hasil Simulasi Dengan Frekuensi Carrier Tetap Dan Nilai Filter Berubah

Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh frekuensi *carrier* terhadap harmonisa dan tegangan pada inverter satu fasa dengan filter yang berbeda, yang dimulai dari filter terbesar hingga filter terendah dengan frekuensi *carrier* yang tetap yaitu 10 Khz, sehingga dapat mengetahui harmonisa dan tegangan yang dihasilkan.

TABLE V
HASIL SIMULASI DENGAN FREKUENSI CARRIER TETAP DAN NILAI FILTER BERUBAH

Frekuensi Carrier	Filter Pasif LC		Sesudah Filter	
	L (mH)	C (nF)	THD _v	Fundamental Tegangan
10 Khz	31,84	796,1	0,93%	219,3 V
	19,10	477,7	1,03%	219 V
	13,64	341,2	1,30%	219 V
	10,61	265,3	1,70%	219 V
	9,554	238,8	1,95%	219 V

Dapat dilihat pada Tabel V diatas yaitu data hasil simulasi dengan menggunakan frekuensi carrier yang tetap dan nilai filter yang berubah, dimulai dari filter terendah hingga terbesar yang dapat mempengaruhi harmonisanya, yang nilai harmonisanya semakin kecil dan lebih baik, dikarenakan filter yang digunakan semakin besar dan

berfungsi untuk penyaringan riak yang lebih baik, jadi dapat disimpulkan semakin besar filter yang digunakan maka harmonisa yang dihasilkan semakin kecil dan lebih baik, dan filter sangat mempengaruhi hasil dari inverter satu fasa.

V. KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan bahwa: Frekuensi carrier terbaik yaitu 6 Khz yang menghasilkan harmonisa terkecil 1,01%, nominal tegangan tertinggi 219,6 V dan menghasilkan gelombang yang mendekati sinusoidal murni, akan tetapi harus menggunakan filter yang besar. Semakin kecil frekuensi *carrier* maka filter pasif LC yang dibutuhkan akan semakin besar untuk L dalam satuan henry dan untuk C dalam satuan farad.

Pada inverter satu fasa ini besaran persentase THD sudah mencapai standar yang diterapkan pada (IEEE : 519 -2014). Semakin besar frekuensi *carrier* maka THD (*total harmonic distortion*) tegangan maupun arus juga akan semakin kecil. Filter LC yang digunakan yaitu L sebagai induktansi filter (henry), dimulai dari yang terendah (9,554 mH) sampai tertinggi (31,84 mH) dan C sebagai kapasitas filter (farad) dari terendah (238,8 nF) sampai tertinggi (796,1 nF), jadi semakin besar filter LC yang digunakan maka THD (*total harmonic distortion*) juga akan semakin kecil dan lebih baik. Filter pasif LC dapat mengecilkan *total harmonic distortion* pada inverter satu fasa dan dapat membuat gelombang sinusoidal yang bersih.

REFERENSI

- [1] K. Ismail, A. Risdianto, P. Penelitian, and T. Listrik, "Studi Pengaruh Pemilihan Frekuensi Carrier dan Komponen Filter Terhadap Bentuk Gelombang Keluaran pada Inverter Satu Fasa," pp. 355–360, 2008.
- [2] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," *Sist. Inf. ISSN*, vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2018.
- [3] N. Evalina and A. A. Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [4] O. O. Omitola, S. O. Olatinwo, and T. R. Oyedare, "Design and Construction of 1KW (1000VA) Power Inverter," *Online*, vol. 5, no. 2, pp. 2222–1727, 2014.
- [5] W. Sunanda and Y. A. Rahman, "Aplikasi Filter Pasif Sebagai Pereduksi," vol. 2, no. 1, pp. 136–142, 2012.
- [6] F. A. Samman, R. Ahmad, and M. Mustafa, "Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 62–70, 2015, doi: 10.22146/jnteti.v4i1.140.
- [7] F. Mohd Yogi Yusuf, Firdaus, "Analisa Konfigurasi Hubungan Primer dan Sekunder Transformator 3 Fasa 380/24 V Terhadap Beban Non Linier," *Jom FTEKNIK Vol.*, vol. 3, pp. 1–12, 2016.
- [8] A. R. Lubis, "Efektivitas Penggunaan Filter Pasif LC dalam Mengurangi Harmonik Arus," *J. Electr. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–8, 2017.
- [9] IEEE, "IEEE Standard 519-2014," *Ieee*, pp. 1–50, 2014.
- [10] P. Khamphakdi and W. Khan-ngern, "The Analysis of Output filter for Grid Connected Single Phase Full Bridge Inverter Based on PSpice Simulation Technique," *2005 ICEMC, Sess. 1C-1*, no. 1, pp. 1–6, 2005.
- [11] K. H. Ahmed, S. J. Finney, and B. W. Williams, "Passive filter design for three-phase inverter interfacing in distributed generation," *5th Int. Conf. Compat. Power Electron. CPE 2007*, 2007, doi: 10.1109/CPE.2007.4296511.
- [12] J. F. Sultani, "Modelling, Design And Implementation Of D-Q Control In Single-Phase Grid-Connected Inverters For Photovoltaic Systems Used In Domestic Dwellings. This Thesis is submitted in partial fulfilment of the requirements of De Montfort University for the award," 2013.
- [13] A. Namboodiri and H. Wani, "Unipolar and Bipolar PWM Inverter," *IJIRSRT - Int. J. Innov. Res. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 7, p. 7, 2014.
- [14] F. V. P. Robinson, *Power electronics converters, applications and design*, vol. 28, no. 1, 1997.
- [15] M. E. ASKER and H. KILIÇ, "Modulation Index and Switching Frequency Effect on Symmetric Regular Sampled Spwm," *Eur. J. Tech.*, vol. 7, no. 2, pp. 102–109, 2017, doi: 10.23884/ejt.2017.7.2.04.
- [16] L. R. Aliyan, R. N. Hasanah, and M. A. Muslim, "Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM," *Eeccis*, vol. 8, no. 1, pp. 79–84, 2014.