

Rancang Bangun Inverter SPWM

Novita Desiwantiyani¹, Firmansyah Nur Budiman²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹14524092@students.uii.ac.id

²firmansyah.nur@uui.ac.id

Abstrak— Inverter Inverter adalah piranti yang berfungsi untuk mengubah tegangan *input* DC menjadi *output* AC. Salah satu teknik mengoptimalkan *output* inverter adalah PWM. Dalam Tugas Akhir ini, dirancang sebuah Inverter PWM satu fasa dengan pensaklaran SPWM bipolar. Inverter ini mempunyai spesifikasi *H-Bridge* 1 fasa, kapasitas *input* 15-30 VDC, tegangan *output* inverter 25,96 VAC, tegangan *output* alat 220 VAC, daya *output* 30 W, efisiensi 81%, frekuensi 50 Hz, *duty cycle* 50%, I_{max} 1 A, *output* gelombang *square wave*. Parameter untuk mengetahui kualitas *output* inverter yaitu dengan menentukan nilai m_f . m_f adalah Rasio Modulasi Frekuensi, artinya perbandingan antara frekuensi referensi dengan frekuensi *carrier*. Melalui sampling SPWM *bipolar switching*, diketahui pengaruh variasi m_f terhadap *output* inverter. Desain Inverter PWM menggunakan komponen MOSFET IRF640N, *gate driver* 4N25M, transistor NPN 2N3904 dan PNP 2N3906, LM2575, trafo CT 3 A. Pemicu sinyal SPWM menggunakan program Arduino R3 Uno. Pengukuran *output* inverter menghasilkan tegangan 25,99 VAC dengan variasi nilai m_f 18 dan m_f 36. Pengaruh variasi m_f terhadap *output* yaitu gelombang semakin rapat, frekuensi *carrier* semakin besar. Dari sisi penampilan gelombang, mengindikasikan harmonik pada variasi m_f tersebut lebih bagus, sehingga kualitas inverter semakin baik. Pengujian terhadap beban setelah ditambah trafo, menghasilkan *output* tegangan tegangan 161 VAC, arus 0,10 A, daya 24 W, efisiensi 81%. Target rancang bangun inverter yang dilakukan, terbukti dengan spesifikasi alat.

Kata kunci— SPWM, PWM, Inverter, *H-Bridge*, *bipolar switching*, m_f .

I. PENDAHULUAN

Sistem Tenaga Listrik telah mengalami kemajuan yang sangat pesat. Dalam perkembangannya, setiap orang dimudahkan untuk melakukan pekerjaan dibidang elektronika. Dalam dunia Listrik, dihasilkan alat – alat elektronika yang bermanfaat untuk kebutuhan di zaman sekarang. Alat elektronika yang berguna dalam kehidupan sehari hari yaitu inverter. Inverter adalah perangkat elektronika yang mengubah tegangan *input* DC menjadi tegangan *output* AC, menggunakan pensaklaran dengan frekuensi tertentu. Alat ini diperlukan, ketika dalam suatu daerah mengalami pemadaman Listrik. Dengan adanya inverter, Pengguna bisa mendapatkan energi Listrik melalui sumber DC (Baterai), sehingga bisa menyalakan Lampu sebagai sumber penerangan sementara.

Pada skripsi ini, Penulis akan membuat Inverter gelombang kotak tipe *H-Bridge* / jembatan penuh satu fasa. Inverter tersebut, dikombinasikan dengan pensaklaran PWM melalui

program di Arduino. Pensaklaran PWM yang dibuat mengikuti metode *bipolar switching*. Hasil Inverter PWM divariasikan dengan *duty cycle* sehingga menjadi SPWM. *H-bridge* adalah jembatan penuh, sehingga *output* dari inverter tersebut adalah *square wave*. Prinsip kerja dari rangkaian *H-Bridge* yaitu empat saklar yang bekerja secara bersilangan ketika dialiri oleh arus. Cara kerja bersilangan yang dimaksud, ketika ada dua saklar berlawanan bersifat *on*, dan dua saklar berlawanan bersifat *off*. Dari dua saklar berlawanan tersebut, arus mengalir dari sumber *input* searah (DC) menuju saklar searah positif dan sebaliknya searah negatif. Kemudian arus bekerja bolak balik melewati empat saklar hingga timbul tegangan *output* (AC) bolak balik.

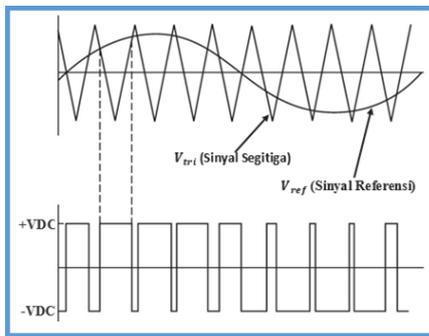
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Teori PWM

PWM adalah modulasi lebar pulsa. PWM dapat dibangkitkan secara digital. Proses pembangkitan sinyalnya dengan Arduino dan Mikrokontroler secara diskrit. Jika sinyal diatur *high / on*, maka sinyal dikirim dari arduino menuju alat sehingga sinyal referensi lebih besar dari sinyal gergaji. Jika sinyal diatur *low / off*, maka sinyal gergaji lebih besar dari sinyal referensi. Teknik PWM didapatkan dengan mengubah perbandingan antara lebar pulsa positif ke lebar pulsa negatif. Proses perbandingan sinyal tidak merubah frekuensinya. Total 1 periode / T pada pulsa PWM tetap [1].

B. Tinjauan Teori mengenai Inverter SPWM

Pada *output* inverter, total harmonik dapat dikurangi dengan metode SPWM [2]. Harmonik pada Inverter yang tidak di filter, terdapat cacat gelombang frekuensi yang tinggi. Namun, tidak berlaku pada *output* gelombang kotak. PWM menawarkan solusi untuk mengontrol tegangan *output* dan amplitudo. Proses kontrolnya, melalui modulasi bentuk gelombang untuk mengurangi harmonik. Pada metode *bipolar switching*, bentuk pengendaliannya memerlukan sinyal pembawa atau gelombang segitiga. Proses pensaklaran SPWM *bipolar switching* menggunakan dua buah sinyal yaitu sinyal segitiga dan sinyal sinus seperti pada Gambar 1. Cara modulasinya dengan perbandingan sinyal *carrier* dan sinyal referensi. Prinsip *bipolar switching* adalah ketika amplitudo sinyal referensi lebih besar dari sinyal *carrier* maka hasilnya *high* atau *on*. Kemudian, ketika sinyal referensi lebih kecil dari sinyal *carrier* maka hasilnya *off* atau *low*.



Gambar 1. Pensaklaran sinyal SPWM

1. Regulator Tegangan

Regulator Tegangan adalah rangkaian untuk mempertahankan agar tegangan DC pada *output* tidak berubah, sesuai beban yang dihubungkan kepadanya. Komponen ini berfungsi memberi stabilitas pada masukan *power supply*. Jika tidak terpasang regulator tegangan, maka keluaran tegangan DC dari penyearah cenderung berubah – ubah saat diproses. Penyebab tidak stabilnya *power supply* karena *input* tegangan AC dari PLN dan variasi beban. Desain regulator tegangan membutuhkan komponen tambahan seperti IC, dioda, kapasitor, dan induktor.

2. Gate Driver

Gate Driver adalah penguat daya yang menerima *input* daya rendah dari IC pengontrol dan menghasilkan *input drive* arus tinggi untuk gerbang transistor berkekuatan tinggi seperti MOSFET. Salah satu komponen yang bertindak sebagai *gate driver* adalah *optocoupler*. *Optocoupler* disebut juga sebagai *optotransistor*. *Optocoupler* adalah komponen elektronika yang bekerja berdasarkan penghubung cahaya optik. Komponen ini menggunakan sinar pemicu *high/low* dan pemicu *on/off*. *Opto* adalah optik, sedangkan *coupler* adalah pemicu. *Optocoupler* mempunyai dua sensor. Sensornya terdiri dari *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* berfungsi sebagai pengirim cahaya sinyal optik. *Receiver* berfungsi penerima cahaya sinyal optik.

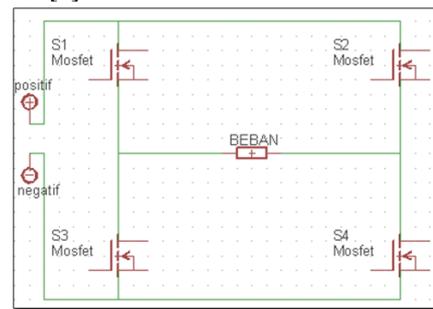
3. MOSFET

MOSFET sering disebut sebagai *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*. MOSFET adalah transistor efek medan berupa perangkat semikonduktor yang mempunyai impedansi masukan tinggi. MOSFET bekerja dengan cara mengaktifkan buka tutup saklar *on* dan *off*. MOSFET mempunyai 3 gerbang terminal yaitu *source* (S), *gate* (G), dan *drain* (D). Melalui gerbang tersebut, arus listrik masuk melewati *source* dan keluar melalui *drain*. *Gate* berfungsi untuk mengatur lebar saluran yang dikendalikan oleh tegangan elektroda.

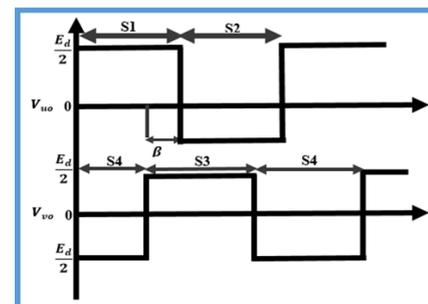
4. H-Bridge

Inverter *H-Bridge* adalah peralatan elektronika yang terdiri dari empat buah saklar seperti pada Gambar 2. Tiap saklar terhubung melalui jembatan. Jembatan tersebut dialiri oleh arus sumber tegangan. *Output* Inverter jenis ini berupa gelombang kotak yang terdapat pada Gambar 3. Proses kontrol pada empat saklar menggunakan mikrokontroler jenis atmega. Pada bidang elektronika, bentuk *H-Bridge* dapat diperluas dengan

penambahan rangkaian. Penambahan rangkaian tersebut akan menghasilkan tegangan *output* tambahan. Pada *H-Bridge* satu fasa mempunyai tegangan *output* yang terdiri dari +VDC, -VDC, dan nol [3].



Gambar 2. Rangkaian H-Bridge



Gambar 3. Bentuk *output* gelombang Inverter H-Bridge

5. Bipolar Switching

Pensaklaran yang digunakan pada rangkaian *H-Bridge* di sebut sebagai *H-Bridge Bipolar*. Saklar 1,4 dan Saklar 2,3 bekerja bersama sama melalui metode ini. Alasan memilih pensaklaran bipolar, karena total harmonik yang didapat bagus. Efisiensi yang dihasilkan tinggi dan penggunaan daya tidak terlalu besar. Prinsip bipolar yaitu jika nilai sinyal referensi lebih besar dari sinyal *carrier*, maka *output* nya (+VDC). Jika sinyal referensi kurang dari sinyal *carrier*, maka *output* nya (-VDC) seperti pada Persamaan 1 dan 2

$$V_o = +V_{dc} \text{ untuk } V_{sine} > V_{tri} \quad (1)$$

$$V_o = -V_{dc} \text{ untuk } V_{sine} < V_{tri} \quad (2)$$

Di mana,

$$V_o = \text{Tegangan input (V)}$$

$$V_{DC} = \text{Tegangan DC (V)}$$

$$V_{sine} = \text{Tegangan Sinyal Pembawa (V)}$$

$$V_{tri} = \text{Tegangan Sinyal Carrier (V)}$$

C. Rasio Modulasi Frekuensi

Rasio Modulasi Frekuensi atau m_f adalah perbandingan dari frekuensi sinyal segitiga dengan frekuensi sinyal pembawa [4]. Deret *fourier* pada keluaran PWM, nilai tegangannya mempunyai frekuensi dasar yang sama dengan frekuensi pada sinyal. Frekuensi harmonisa terletak pada kelipatan frekuensi *switching*. Harmonik yang terdapat pada gelombang, mempunyai nilai yang sangat besar dari nilai sebenarnya. Frekuensi tinggi menjadi penyebab adanya harmonik. Untuk mengetahui nilai dari Rasio Modulasi

Frekuensi, maka ditunjukkan pada persamaan 3.

$$m_f = \frac{F_{carrier}}{F_{reference}} = \frac{F_{tri}}{F_{sine}} \quad (3)$$

Di mana,

$f_{tri} = f_{carrier}$ = Frekuensi sinyal *carrier* / segitiga (Hz)

$f_{sine} = f_{reference}$ = Frekuensi sinyal pembawa (Hz)

m_f = Rasio Modulasi Frekuensi

Persamaan 4 menunjukkan rumus untuk mencari tegangan *output* pada *deret fourier* [5]. Untuk mendapat nilai *deret fourier*, maka ditentukan dengan memeriksa *deret pulsa* dan gelombang segitiga. Kemudian tegangan *output* tersebut disinkronkan melalui gelombang referensi. *Output PWM* berupa tegangan yang menghasilkan bilangan ganjil pada nilai m_f .

$$V_o(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin(n\omega t) \quad (4)$$

Di mana,

V_o = tegangan *output* (V)

V_n = tegangan orde harmonik (V)

n = orde harmonik (n=3,5,7..)

Total Harmonik Distorsi adalah perbandingan nilai komponen harmonik dengan nilai komponen fundamental. THD bertujuan mengetahui penyimpangan hasil gelombang yang mengandung harmonik pada gelombang satu periode. *Output Inverter*, ditentukan dengan kemiripan tingkatan pada sinyal sinus murni. Persamaan 5 menyatakan nilai total harmonik distorsi untuk gelombang yang tidak sinus [6].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_{n,rms})^2}}{V_{1,rms}} = \frac{\sqrt{V^2_{rms} - V_{1,rms}^2}}{V_{1,rms}} \quad (5)$$

Di mana,

V_{rms} = Tegangan *root mean square* (V)

V_1 = Tegangan (V)

V_n = Tegangan harmonik ke-n (V)

THD = *Total Harmonik Distorsi* (%)

Rumus THD terhadap arus, sama dengan rumus THD terhadap tegangan. Cara perhitungannya dengan mengganti nilai tegangan menjadi nilai arus. Persamaan 6 merupakan rumus untuk mencari nilai komponen harmonik tegangan.

$$V_n = \frac{4V_{dc}}{n\pi} \quad (6)$$

Di mana,

V_n = Komponen harmonik tegangan ke-n (V)

V_{dc} = Tegangan DC (V)

n = orde harmonik (n=3,5,7..)

Persamaan 7 menentukan nilai komponen harmonik arus. Nilai ini didapat dengan membandingkan komponen harmonik tegangan dan nilai impedansi harmonik.

$$I_n = \frac{V_n}{Z_n} \quad (7)$$

Di mana,

V_n = Komponen harmonik tegangan ke-n (V)

Z_n = Komponen Impedansi harmonik ke-n (Ω)

I_n = Komponen harmonik arus ke-n (A)

Untuk mengetahui daya harmonik, digunakan rumus daya terhadap *deret fourier*. Persamaan 8 menunjukkan rumus untuk mencari daya pada tiap komponen harmonik.

$$P_n = I_n^2_{rms} \times R = \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2 \times R \quad (8)$$

Di mana,

P_n = Daya harmonik ke-n (W)

I_n = Komponen harmonik arus ke-n (A)

R = Beban (Ω)

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan Perancangan Alat ini, dilakukan dalam jangka waktu enam bulan. Tempat Penelitian di Laboratorium Sistem Ketenagaan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia.

B. Alat dan Bahan

Dalam merancang Inverter terdiri dari alat, bahan, serta komponen yang akan dirinci sebagai berikut.

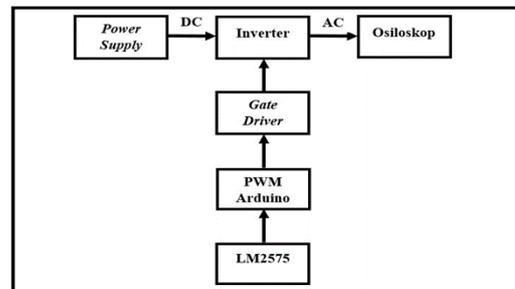
- Alat dan Bahan,

Arduino Uno R3, Kabel penghubung, penjepit buaya, *power supply* 30 VDC, osiloskop rigol, multimeter digital, solder, isi timah solder, obeng minus, *wattmeter*, papan pcb, 1 buah Lampu.

- Komponen,

IC LM2575, Kapasitor 470 μ f dan 100 μ f, Induktor SMD 331, diode zener, Mosfet IRF640N (4 buah), Transistor NPN 2N3904 (4 buah), Transistor PNP 2N3906 (4 buah), IC 4N25M (4 buah), Resistor 330 Ω , 5,6 Ω , 1,2 Ω (masing masing 4 buah), dan trafo CT 3 A.

C. Desain Inverter



Gambar 4. Blok Diagram Alat

Blok diagram alat ditunjukkan pada Gambar 4. Sumber *input* yang digunakan berupa *power supply* DC 30 V. Melalui

blok diagram tersebut, *input* tegangan DC masuk menuju bagian regulator tegangan LM2575. Regulator tegangan memberi tegangan kerja arduino. Inverter yang dirancang terdiri dari rangkaian regulator tegangan, rangkaian penguat, dan rangkaian *H-Bridge*. Saat PWM Arduino aktif, sinyal dikirim ke *gate driver* 4N25M. 4N25M yang diperkuat transistor, mengontrol MOSFET untuk buka dan tutup saklar. Arah arus pensaklaran sesuai dengan cara kerja rangkaian *H-Bridge*. *Output* tegangan AC pada inverter, akan dibaca hasil gelombangnya melalui osiloskop. Pada proses desain rangkaian, digunakan *software eagle*. Rangkaian Inverter *H-Bridge* tersebut terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya rangkaian *H-Bridge*, rangkaian penguat sinyal, dan rangkaian regulator. Ketiga rangkaian digabung dan disambung dengan Arduino. Secara keseluruhan, rangkaian tersebut yang akan mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

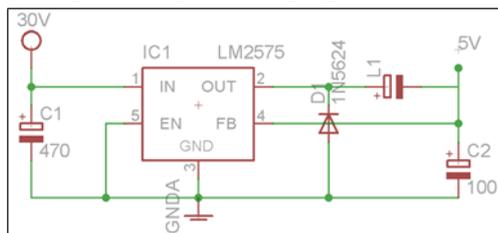
D. Flowchart Penelitian



Gambar 4. Flowchart Penelitian

E. Desain Rangkaian

✓ Rangkaian Regulator Tegangan



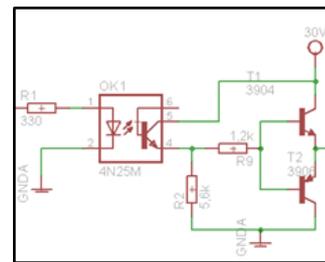
Gambar 5. Regulator Tegangan LM2575

Regulator tegangan yang dipilih adalah LM2575, seperti pada Gambar 5. Regulator tegangan dikemas dalam bentuk sirkuit terintegrasi (IC). Alasan memilih LM2575, karena bisa dimasukkan tegangan 15– 60 V, dapat menggerakkan beban hingga 1 A, tidak mudah panas. Sehingga sesuai dengan desain

yang akan dibuat. Seri regulator termasuk tipe *fixed* (*output* tetap). Sesuai data sheet diperlukan komponen tambahan. Komponen berupa dua kapasitor polar 470 μf dan 100 μf , satu diode zener, dan induktor 331 μH .

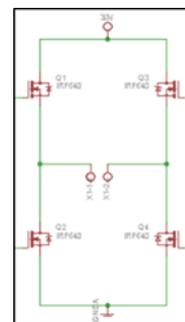
✓ Rangkaian Penguat

Rangkaian ini terdiri dari transistor bipolar N3904 dan P3906 dengan *gate driver* IC 4N25M yang ditunjukkan pada Gambar 6. Spesifikasinya terdiri dari V_{be} dan V_{ce} 40 V, arus 200 ma, 200MHz. Alasan menggunakan transistor karena cocok sebagai penguat tegangan, membangkitkan frekuensi, dan jembatan saklar. 4N25M punya keunggulan batas *on* 2-5 μs dan batas *off* 300 ns, tegangan isolasi 2500 V, I_{LED} 15 – 30 ma. Komponen ini mampu dikendalikan dengan Arduino. Proses kecepatan pemuncunya sangat cepat. Penghubung ke 5 V Arduino digunakan resistor 330 Ω sebagai tahanan pembatas.



Gambar 6. Rangkaian Penguat Sinyal

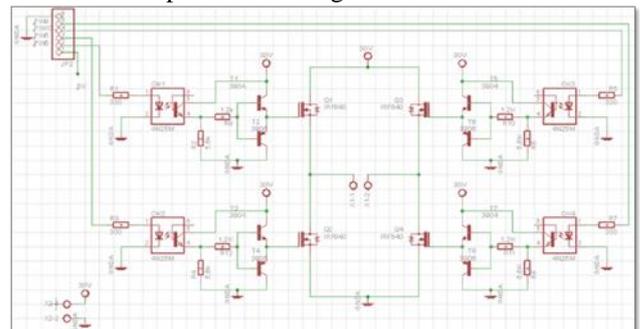
✓ Rangkaian *H-Bridge*



Gambar 7. H-Bridge dengan 4 MOSFET

Rangkaian Jembatan penuh terdiri dari 4 MOSFET yang ditunjukkan pada Gambar 7. MOSFET yang dibutuhkan dengan spesifikasi proses *switching* cepat, tidak cepat panas, punya temperatur tinggi, dan dapat digunakan pada sistem Arduino. Dengan spesifikasi tersebut, digunakan MOSFET IRF640N.

F. Hasil Implementasi Rangkaian

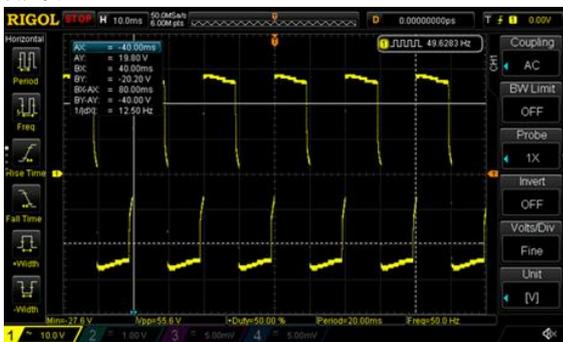


Gambar 8. Implementasi Rangkaian dengan *Software Eagle*

IV. HASIL DAN ANALISIS

❖ Hasil *output* Inverter *H-Bridge*

Pada hasil Percobaan ini, *output* sinyal inverter yaitu *square wave*. Desain alat yang dibuat telah berhasil, karena rangkaian *H-Bridge* mempunyai *output* gelombang kotak. Ketika *input* disambung ke inverter, hasil pengujian terukur *input* DC 30 V, arus 0,02 A, daya 0,6 W. Pengukuran selanjutnya menggunakan multimeter digital. Pada multimeter, *input* yang terukur adalah 30 VDC. Kemudian, *output* yang terbaca 25,96 VAC. Inverter telah terbukti mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. *Output* Inverter input 30 VDC

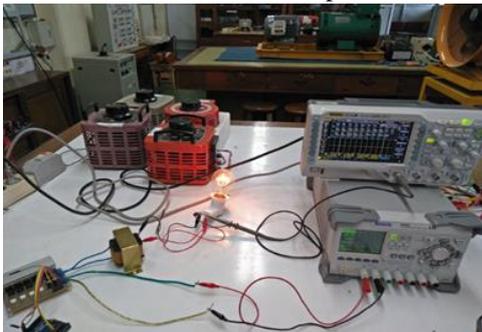
❖ Hasil *Output* Inverter dengan *Duty cycle* 30%

Pengujian kedua mengatur *duty cycle* menjadi 30%. Frekuensi 50 Hz periode 20 ms. Hasil sinyal yang terbaca, terjadi perubahan yang signifikan. Lebar pulsa *high* lebih pendek daripada pulsa *low*. Durasi lebar pulsa sinyal *carrier* lebih tinggi dari sinyal referensi. Nilai T_{on} yang diatur 6 ms dan T_{off} yang diatur 14 ms. Perhitungan tersebut yang membuktikan jika lebar pulsa *on* lebih kecil daripada lebar pulsa *off* yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. *Output* PWM dengan *duty cycle* 30%

❖ Hasil Pembuktian beban Lampu 25 W



Gambar 11. Hasil Pembuktian Inverter dengan Beban

Spesifikasi desain yang diinginkan adalah *input* 30 VDC, *output* 220 VAC, daya 25 W, frekuensi 50 Hz, dan *output square wave*. Penulis menguji inverter dengan beban lampu pijar 220 VAC daya 25 W. Pengujian dilakukan dengan *input* 30 VDC. Polaritas lampu pijar dihubungkan dengan bagian primer trafo *center tap* pada titik 0 V dan 220 VAC. Melalui Gambar 11, dapat ditinjau hasilnya. Inverter tersebut mampu menyalakan lampu 25 W dalam keadaan stabil.

❖ Hasil Gelombang Lampu Pijar 25 W

Hasil dari sinyal *output* beban ditunjukkan pada Gambar 12. Pada pengujian tersebut, frekuensinya 50 Hz, periode 20 ms. Berdasarkan parameter pengukuran lampu pijar, dihasilkan tegangan 161 VAC, arus 0,10 A, daya 24 W. Bagian *input* DC terukur tegangan 30 VDC, arus 0,98 A, daya 28,34 W. Pengukuran dengan multimeter, menunjukkan *input* DC 29,99 V dan *output* AC 23,41 V.

Efisiensinya adalah 85%. Pengujian terhadap beban, mempengaruhi perubahan level tegangan *output*. Sebelum terhubung beban, *output* Inverter 25,96 VAC. Setelah terhubung dengan beban, *output* inverter 23,24 VAC. Terjadi penurunan level tegangan sebesar 2,72 VAC. Pada Gambar 12 *output* gelombang *square wave*. *Duty cycle* sebesar 50%. Sinyal referensi dan sinyal *carrier* pada posisi seimbang dengan $T_{on}=10$ ms dan $T_{off}=10$ ms.



Gambar 12. *Output* beban Lampu 25 W

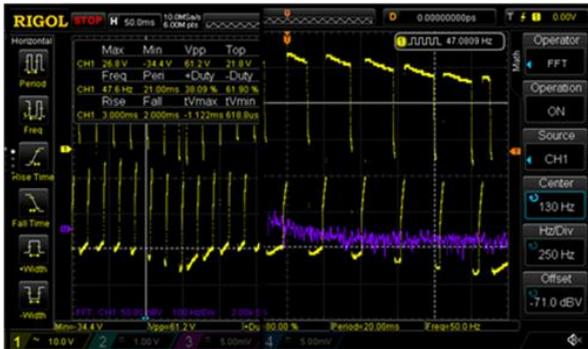
❖ Hasil Rasio Modulasi Frekuensi 18 dan 36

Pada pengujian ini, Penulis menentukan nilai m_f 18 yang ditunjukkan pada Gambar 13. m_f adalah perbandingan frekuensi sinyal *carrier* dengan frekuensi sinyal referensi. Nilai frekuensi didapat dari $\frac{1}{2}$ dibagi nilai periode satu gelombang kotak pada sampling 9 *duty cycle*. Frekuensi *carrier* adalah $f_c = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,1} \times 10^{-3} = 909$ Hz. Nilai m_f adalah $m_f = \frac{F_{tri}}{F_{ref}} = \frac{909}{50} = 18$. Hasil sampling sebanyak 18 ditunjukkan pada Gambar 14.

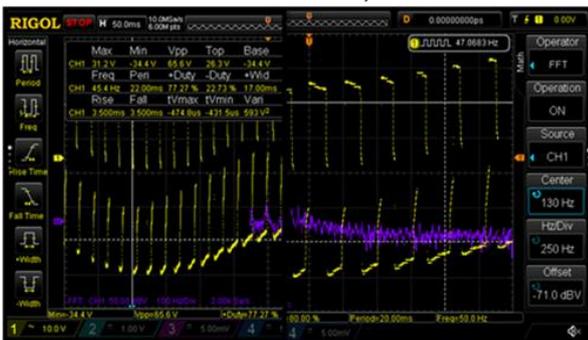
Proses sampling ini menggunakan SPWM *Bipolar switching*. Prosesnya dengan variasi 18 *duty cycle* dalam periode gelombang. Nilai *duty cycle* yang disampling dengan satuan persen. parameter nilai tersebut adalah 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%, 60%, 55%, 50%, 40%, 30%, dan 25%. Frekuensi sinyal referensi adalah 50 Hz. Periodenya 20 ms. $\frac{1}{2}$ dari periode gelombang adalah 10 ms. Nilai 1 gelombang kotak, dari 18 sampling adalah 0,55 ms.

Nilai m_f yang ditentukan adalah 36. Untuk mengetahui nilai frekuensi *carrier* digunakan rumus

$$f_c = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,55} \times 10^{-3} = 1818 \text{ Hz. Nilai Rasio Modulasi Frekuensi adalah } m_f = \frac{F_{tri}}{F_{ref}} = \frac{1818}{50} = 36.$$



Gambar 13. Hasil $m_f = 18$



Gambar 14. Hasil Sampling $m_f = 36$

Pensaklaran bipolar SPWM diujikan dengan m_f 18 dan 36. Dari hasil tersebut, nilai m_f berpengaruh terhadap kualitas *output* inverter. Bentuk gelombangnya semakin rapat hingga frekuensi sinyal *carrier* semakin besar. Proses kontrol *switch* yang dimodulasi semakin banyak akan mengurangi harmonik yang muncul pada gelombang tersebut. Sehingga bentuk gelombang yang renggang akan memiliki harmonik yang besar. Hal tersebut menyatakan bahwa harmonik yang besar akan memperburuk kualitas *output* inverter.

Jika menambah nilai m_f dengan variasi *duty cycle* diperoleh harmonik terendah pada inverter. Inverter akan mempunyai kualitas yang baik. Besarnya nilai m_f yang mengindikasikan harmonik semakin baik, terbukti melalui analisa harmonik pada Tabel 1. Analisa harmonik dinyatakan dalam bentuk persamaan *Total Harmonik Distorsi*. Perhitungan THD arus hingga harmonik orde ke 11 mendapatkan hasil sebesar 11%. Berdasarkan analisa harmonik pada gelombang Gambar 13, nilai m_f 18 menghasilkan nilai THD arus sebesar 4%. Perhitungan analisa harmonik pada Gambar 14, nilai m_f 36 menghasilkan besar THD arus 2%.

Dari nilai THD, dapat mengetahui indeks besar harmonik yang muncul pada gelombang *output* inverter. Hasil tersebut menyatakan dari harmonik ke 11, total harmonik diperkecil dengan memvariasi nilai m_f 18. Dengan memilih nilai m_f yang semakin besar yaitu 36, nilai harmonik dapat berkurang melalui turunnya nilai Indeks THD berdasarkan Tabel 4.1. Kualitas *output* pada inverter ini mengindikasikan baik, karena

nilai m_f yang ditentukan mengurangi harmonik pada gelombang tersebut.

Tabel 1. Perbandingan orde harmonik pada $m_f= 18$ dan $m_f= 36$

Bipolar $m_f= 18$		Bipolar $m_f= 36$	
f_n (Hz)	I_n (A)	f_n (Hz)	I_n (A)
50	0,085	50	0,090
850	0,00179	1750	0,00087
900	0,00318	1800	0,00159
950	0,0016	1850	0,00082
I_{rms}	0,0046	I_{rms}	0,0023
THD_i	4%	THD_i	2%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

1. Inverter PWM tipe *H-Bridge* satu fasa sebelum dihubungkan trafo, mampu mengubah tegangan *input* 30 VDC menjadi *output* 25,99 VAC, frekuensi 50 Hz dan periode 20 ms. Sehingga piranti tersebut dapat berfungsi sesuai dengan teori. Fungsinya mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC.
2. Inverter ini mempunyai spesifikasi daya 25 W, *input* DC 15 – 30 V, *output* AC 220V, frekuensi 50 Hz, *square wave*, efisiensi 88%. Hasil pengujian beban dengan lampu pijar 25 W membuktikan bahwa daya yang mengalir 24 W, arus 0,10 A, tegangan *output* 171 V, efisiensi 85%.
3. Nilai m_f yang ditentukan 18 dan 36 sehingga variasi m_f menurunkan nilai harmonik. Pengaruh terhadap gelombang yang dihasilkan semakin rapat dan frekuensi *carrier* semakin besar. Dari sisi penampilan m_f tersebut, maka semakin tinggi nilai m_f mengindikasikan harmonik pada sinyal tersebut lebih bagus, sehingga kualitas dari *output* inverter semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Susheela and P. S. Kumar, "Performance Evaluation of Carrier Based PWM Techniques for Hybrid Multilevel Inverters with Reduced Number of Components," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 635–642, 2017.
- [2] D. Zammit *et al.*, "A new topology for cascaded H-bridge multilevel inverter with PI and Fuzzy control," *Energy Procedia*, vol. 117, no. 0, pp. 917–926, 2017.
- [3] D. Zammit, C. Spiteri Staines, and M. Apap, "Compensation techniques for non-linearities in H-bridge inverters," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 361–376, 2016.
- [4] F. Induction, M. Speed, and K. Kunci, "Pengaruh teknik modulasi pwm pada keluaran inverter tiga fase untuk pengaturan kecepatan variabel motor induksi," vol. 2, no. 1, pp. 32–39, 2015.
- [5] V. B. Mary, I. W. Christopher, and G. Themozhi, "3-Switch Single-Phase Inverter for PV System," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 674–681, 2017.
- [6] N. V. kumar, V. K. Chinnaiyan, M. Pradish, and S. P. Karthikeyan, "Simulated Annealing Based Selective Harmonic Elimination for Multi-level Inverter," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 855–861, 2017.