

PERANCANGAN RANGKAIAN *BOOTSTRAP* DENGAN IC IR2110 DAN SISTEM INVERTER SATU FASA TOPOLOGI H-BRIDGE BERBASIS IGBT IRG4PC50WD

Maksum Agung Praptomo ^{*}), Iwan Setiawan dan Denis

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail : maksumaungp@gmail.com

Abstrak

Inverter banyak diaplikasikan pada dunia industri, salah satunya adalah dalam pengendalian kecepatan maupun torsi pada motor induksi. Komponen utama dari sebuah inverter biasanya adalah MOSFET atau IGBT. MOSFET memiliki nilai yang cukup besar pada fasa turn-on. Sehingga pada pemakaian beban yang memiliki nilai induktansi, rugi-rugi switching IGBT akan meningkat. Pemakaian IGBT juga mempunyai kerugian akibat adanya tailing current selama fall time. Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang suatu inverter topologi H-bridge menggunakan IGBT dengan teknik pemicuan SPWM berbasis mikrokontroler 16-bit dsPIC30f4011 yang dilengkapi dengan rangkaian bootstrap dan bertujuan untuk mengatur kecepatan motor. Pengujian inverter dilakukan dengan memvariasi nilai frekuensi, kemudian menganalisis efisiensi dan harmonisa pada saat inverter dalam kondisi tanpa beban dan berbeban. Inverter jenis H-bridge dengan kapasitor bootstrap tanpa filter dan menggunakan filter motor sudah berhasil direalisasikan. Nilai efisiensi rata-rata inverter pada kondisi tanpa beban sebesar 86,07%, sedangkan pada saat kondisi berbeban sebesar 86,8%. Pada saat inverter dalam kondisi tanpa beban didapatkan nilai THD tegangan rata-rata sebesar 6,02%, sedangkan nilai THD arus rata-rata sebesar 12,56%, sedangkan pada saat kondisi berbeban didapatkan nilai THD tegangan rata-rata sebesar 9,48%, sedangkan nilai THD arus rata-rata sebesar 10,9%.

Kata kunci : Inverter H-bridge, Efisiensi, Harmonisa.

Abstract

Inverters widely applied in the industrial world, one of which is in controlling the speed and torque of the induction motor. The main component of an inverter is usually MOSFET or IGBT. MOSFET has large enough value in the turn-on phase. The load that has an inductance value, IGBT switching losses will increase. IGBT has losses due to tailing current during fall time. This Final Project research aims design an H-bridge topology inverter using IGBT with SPWM triggering technique based on 16-bit dsPIC30f4011 microcontroller equipped with a bootstrap circuit and aims to regulate motor speed. Inverter testing is done by varying the frequency value, then analyzing efficiency and harmonisa when the inverter is in no-load and load condition. H-bridge type inverter with bootstrap capacitor without filter and using motor filter has been successfully realized. The average efficiency value of the inverter in the no-load condition is 86.07%, while the load condition is 86.8%. When the inverter no load condition, the average voltage THD value is 6.02%, while the average current THD value is 12.56%, The condition is obtained for an average voltage THD value of 9.48% , while the average THD value of 10.9%.

Keywords: Inverter H-bridge, Efficiency, Harmonics

1. Pendahuluan

Dewasa ini, motor induksi satu fasa banyak digunakan dalam proses industri sebagai pompa, kompresor, kipas, konveyor, dan penunjang alat penggerak produksi lainnya. Banyaknya penggunaan motor induksi ini didasari karena motor induksi lebih menguntungkan dari motor sinkron maupun motor DC. Hal ini disebabkan motor induksi mempunyai konstruksi sederhana, tahan lama, perawatan

mudah, dan memiliki efisiensi yang tinggi, Motor induksi yang digunakan pada industri tentu harus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pengaturan yang paling umum dilakukan adalah pengaturan terhadap kecepatan putaran rotor. Ada beberapa cara yang bisa dilakukan untuk mengatur kecepatan motor diantaranya adalah: pengaturan tegangan stator, penggunaan gear box, pengaturan frekuensi tegangan. Pengaturan kecepatan dengan mengubah besar tegangan stator kurang efektif sebab pengaturan hanya dapat dilakukan hingga batas tegangan

nominal motor dan hanya efisien jika dilakukan pada motor – motor berukuran kecil. Pengaturan dengan menggunakan gear box dapat dilakukan, tetapi jangkauan pengaturan yang dihasilkan sempit serta dapat meningkatkan rugi – rugi mekanis pada motor. Dengan mempertimbangkan dua jenis pengaturan diatas, maka pengaturan motor yang paling umum dilakukan adalah dengan mengubah frekuensi tegangan. Selain jangkauan pengaturan yang dihasilkan luas, teknik ini juga mudah untuk dilakukan dengan penggunaan variable frequency drive (VFD), atau dikenal juga sebagai variable speed drive (VSD). [1]

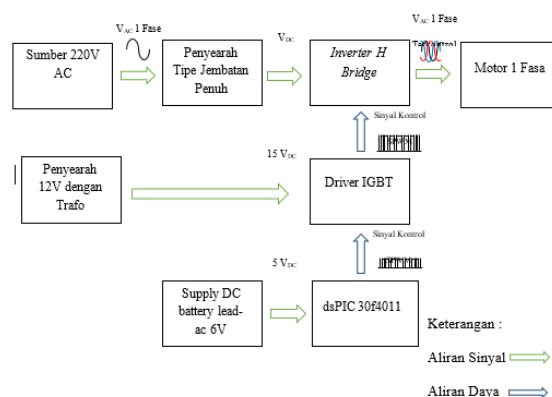
Inverter banyak diaplikasikan pada dunia industri, salah satunya adalah dalam pengendalian kecepatan maupun torsi pada motor induksi.[2] Komponen utama dari sebuah inverter biasanya adalah MOSFET atau IGBT. Pada perancangan konvensional, seringkali suatu inverter hanya menggunakan salah satu dari keduanya. Padahal jika dilihat dari segi rugi-rugi switching, MOSFET memiliki nilai yang cukup besar pada fasa turn-on. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai reverse recovery time pada dioda freewheeling IGBT. Sehingga pada pemakaian beban yang memiliki nilai induktansi, rugi-rugi switching IGBT akan meningkat. Pemakaian IGBT juga mempunyai kerugian akibat adanya tailing current selama fall time.[3]

Driver yang didesain dengan ground terpisah antara high side dan low side pada satu kaki inverter juga membutuhkan suplai yang terpisah pada sisi high. Sehingga pada inverter satu fasa, jumlah power supply yang dibutuhkan adalah sebanyak 4 buah.[4] Hal ini meningkatkan pemakaian daya yang dikonsumsi inverter akibat suplai rangkaian driver.

Oleh karenanya, dalam Penelitian ini, dirancang dengan menggunakan IGBT satu fasa dengan teknik pemecuan SPWM berbasis mikrokontroler 16-bit dsPIC30f4011 yang dilengkapi dengan rangkaian bootstrap. Diharapkan inverter ini memiliki performa handal dengan konsumsi daya yang rendah karena mengurangi rugi-rugi switching dengan cara mengkombinasikan IGBT dan Inverter dan mengurangi suplai driver dengan cara menggunakan rangkaian bootstrap dengan IC IR2110.[5]

2. Metode

Gambar 1. merupakan blok diagram perancangan sistem inverter topologi *H-Bridge*. Perancangan ini terdiri 2 sistem utama yaitu rangkaian daya dan rangkaian kontrol. Pada rangkaian kontrol terdapat baterai 12 V 2,3 Ah sebagai sumber, rangkaian pemecuan dsPIC30f4011, dan rangkaian *driver* IGBT TLP250, dan DC LINK sebagai sumber, *inverter H-Bridge*. [6]



Gambar 1. Blok diagram perancangan

2.1. Penyearah Tipe Jembatan Penuh

Suplai tegangan DC atau DC-link sebagai input inverter satu fasa diperoleh dengan menyearahkan tegangan AC 220 V melalui diode bridge dengan kapasitor sebagai filter untuk mengurangi Ripple tegangan, sehingga diperoleh tegangan DC yang mendekati ideal. Topologi bridge rectifier dipilih karena pada topologi ini tegangan puncak yang ditahan dioda pada keadaan reverse bias adalah V_m , sehingga topologi ini cocok untuk digunakan pada aplikasi dengan level tegangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan topologi penyearah dengan CT.[7]

Jika nilai kapasitansi minimum disesuaikan dengan kapasitor yang ada di pasaran dapat dibuat dengan menggunakan dua buah kapasitor dengan nilai 470 μF yang dirangkai paralel, sehingga kapasitor tersebut memiliki total kapasitansi 940 μF .

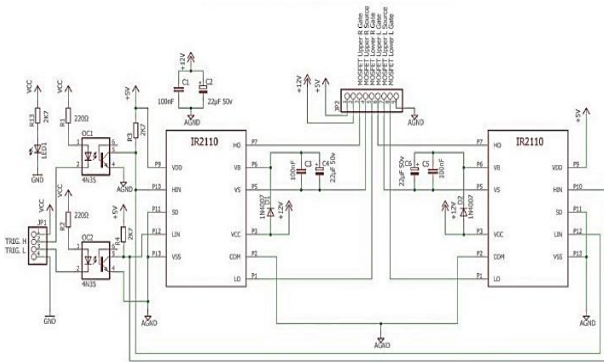
2.2. Center-Tapped Full Wave Rectifier

Gelombang penuh dengan trafo CT dipilih karena daya yang dibutuhkan bernilai kecil sehingga cocok untuk digunakan, dimana pada topologi penyearah ini setiap Suplai daya untuk keperluan IGBT driver dirancang dengan topologi center-tapped full wave rectifier. Pada penyearah ini digunakan 2 dioda untuk menyearahkan hasil keluaran dari trafo CT stepdown. Topologi penyearah dioda akan memikul tegangan 2 V_m dalam keadaan reverse bias.

Dioda yang digunakan adalah IN 4007 dengan kemampuan memikul tegangan hingga 1kV. Untuk mengetahui nilai kapasitor output dapat dihitung dengan persamaan 3.1. Diketahui V_m adalah tegangan output maksimum, ΔV_o adalah Ripple tegangan, f adalah frekuensi dengan nilai 50 Hz, dan R adalah Resistor dengan nilai 1K Ω . Berdasarkan datasheet diperoleh bahwa toleransi output tegangan IC 7815 sebesar 14,25 – 15,75 V atau $\pm 5\%$, sehingga dikehendaki Ripple tegangan output dibatasi 7%, sehingga $(\Delta V_o)/V_m$ adalah 5%

2.3. Perancangan Driver IGBT

Driver IGBT berfungsi untuk menguatkan sinyal pembangkitan Pulse Width Modulation (PWM) yang dibangkitkan oleh rangkaian pembangkit. IGBT membutuhkan tegangan picu gerbang (gate) sekitar 12 V untuk bekerja. Driver IGBT membutuhkan suplai tegangan dengan rentang 12 V-20V pada bagian yang mengendalikan gerbang IGBT. Besar tegangan yang sudah dikuatkan dari Driver ini bergantung dari besar tegangan suplainya. Pada Tugas Akhir ini, digunakan tegangan 12 V untuk mensuplai Driver IGBT, sehingga tegangan yang akan memicu gerbang IGBT bernilai sekitar 12 V. Driver IGBT yang digunakan adalah TLP250 yang dilengkapi dengan rangkaian bootstrap dengan IC IR2110. TLP250 merupakan IC optocoupler yang berfungsi untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal keluaran rangkaian kontrol (dsPIC30F4011) sedangkan IC IR2110 dan rangkaian bootstrap berfungsi sebagai penyedia ground tambahan pada sisi high kaki inverter yang mengalami floating supply ketika IGBT pada sisi bawah (low side) dalam keadaan off.[8]



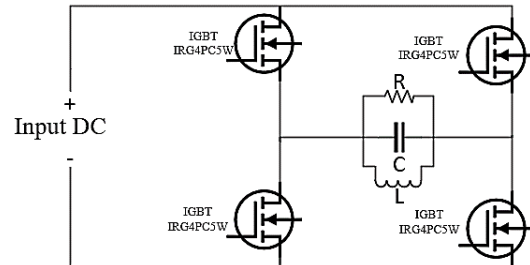
Gambar 2. Perancangan Blok driver bootstrap IR2110

2.3. Supply Rangkaian Kontrol

Sumber tegangan yang digunakan untuk masukan rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM adalah sumber tegangan searah yang berasal dari baterai akumulator. Besar tegangan yang dihasilkan oleh baterai tersebut sebesar 6 VDC sedangkan untuk tegangan input dari kedua rangkaian tersebut membutuhkan 5 VDC dan harus memiliki ground yang terpisah, maka dari itu digunakan DC-DC Step-down Isolated Ground dimana tegangan dari baterai akan diturunkan menjadi 5VDC dan akan memiliki ground yang terpisah. Baterai akumulator yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 2,3 Ah (Ampere hours) yang berarti apabila arus yang mengalir pada rangkaian sebesar 2,3 A, maka baterai akan habis dalam waktu 1 jam.

2.4. Rangkaian Daya

Rangkaian *inverter H-Bridge* terdiri 4 buah IGBT tipe IRG4PC50WD, 2 buah kapasitor untuk pembagi tegangan, dan beban dinamis.



Gambar 3. Rangkaian *inverter topologi H-Bridge*

Inverter satu fasa yang dirancang pada tugas akhir ini menggunakan topologi H-bridge. Topologi ini terdiri atas dua leg dimana pada masing-masing leg terdapat dua buah IGBT sebagai komponen pensaklaran, sehingga terdapat empat buah IGBT dalam rangkaian inverter. IGBT yang digunakan adalah tipe IRG4PC50WD.[9]

Sumber tegangan DC yang digunakan adalah hasil penyearahan tegangan AC melalui bridge rectifier, dimana nilai tegangan DC (V_{DC}) yang dihasilkan adalah $\sqrt{2} \times V_{AC}$. Tegangan $+V_{DC}$ dari DC bus dialirkan pada collector IGBT sisi high, sementara ground V_{DC} dialirkan pada emitter IGBT sisi low dalam satu leg. Keluaran masing-masing leg diambil dari emitter IGBT sisi high dan collector IGBT sisi low pada leg tersebut.

Inverter yang akan dirancang juga dilengkapi dengan dioda freewheeling. Dioda freewheeling ini berfungsi sebagai pengaman IGBT dengan cara mencegah adanya arus balik dari beban yang bersifat induktif dengan menerapkan kondisi reverse pada dioda atau juga sering disebut dengan prinsip reverse recovery [10]. Hal ini dikarenakan pada komponen IGBT yang digunakan tidak terdapat dioda internal seperti yang dimiliki oleh IGBT. Dioda yang digunakan adalah dioda MUR1560 yang memiliki rating maksimum tegangan balik sebesar 600 V dan arus maksimum yang mengalir sebesar 15 A.

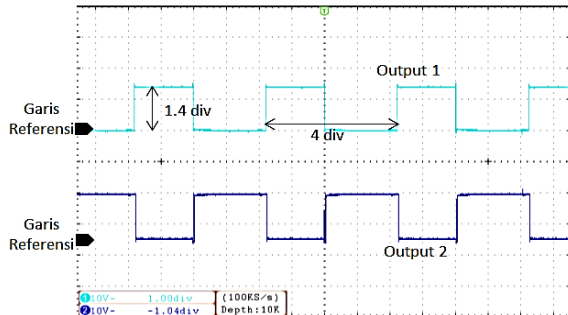
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Gelombang Keluaran Rangkaian Kontrol

3.1.1. Pengujian Gelombang Keluaran IGBT Driver TLP250

Pengujian pada rangkaian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa gelombang tegangan keluaran dari IGBT driver TLP250 sesuai dengan hasil perancangan dan dapat digunakan untuk pemucuan IGBT pada rangkaian *inverter H-Bridge*.

Berdasarkan Gambar 4. hasil pengujian gelombang keluaran driver IGBT TLP250 sudah sesuai. Tegangan keluaran dari TLP250 sudah dapat memicu IGBT.

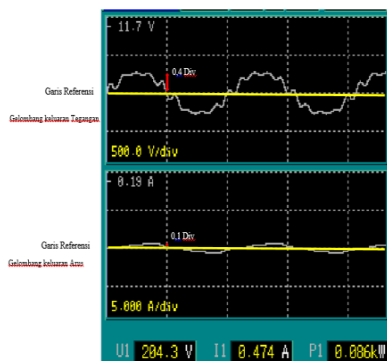


Gambar 4. Gelombang keluaran driver IGBT TLP250

3.2. Pengujian Gelombang Keluaran Inverter H-Bridge

3.2.1. Pengujian Inverter topologi H-bridge dengan filter motor tanpa beban.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gelombang keluaran inverter dengan filter motor dalam kondisi tanpa beban.



Gambar 5. Gelombang tegangan keluaran inverter H-Bridge dengan filter motor tanpa beban

Gambar 5. menunjukkan gelombang keluaran inverter H-bridged dengan filter motor tanpa beban. Gelombang yang dihasilkan berbentuk mendekati gelombang sinusoidal, hal tersebut dikarenakan efek filter yang digunakan merupakan jenis non linier [12].

a. Perhitungan nilai efisiensi inverter topologi H-Bridge dengan filter motor tanpa beban

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi inverter dengan filter motor dalam kondisi tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan, arus, cos phi pada sisi masukan dan keluaran inverter.

Berikut merupakan hasil pengukuran inverter dengan filter motor tanpa beban

Tabel 1. Hasil pengukuran inverter topologi H-Bridge dengan filter motor tanpa beban

f (Hz)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	Cos Phi
46	305	0.3	199	0.563	0.7
48	305	0.32	204	0.52	0.79
50	305	0.34	209.1	0.493	0.87
52	305	0.36	208.4	0.469	0.93
54	305	0.37	209.1	0.48	0.95

Berdasarkan hasil data hasil pengujian pada Tabel 1 dapat dihitung nilai efisiensi dari inverter satu fasa dengan nilai perbandingan daya keluaran dibanding dengan daya input ketika tanpa beban.

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

Daya Keluaran (sampel frekuensi 50 Hz) :

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{out} = 209.1 \times 0.49 \times 0.87$$

$$P_{out} = 89.13 \text{ W}$$

Daya Keluaran (sampel frekuensi 50 Hz) :

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

$$P_{in} = 305 \times 0.34$$

$$P_{in} = 103.7 \text{ W}$$

Dari Perhitungan tersebut maka didapatkan nilai efisiensi dari inverter adalah :

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$n = \frac{90.0974}{103.7} \times 100 \%$$

$$n = 86.87\%$$

Jadi didapatkan nilai Efisiensi sebesar 86.87%. Dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan di atas maka didapatkan :

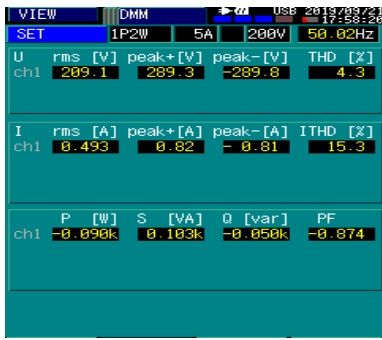
Tabel 2. Perhitungan Efisiensi Inverter topologi H-Bridge tanpa beban

f (Hz)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi
46	91.5	80.41	87.88
48	97.6	84.85	86.94
50	103.7	90.09	86.87
52	109.8	91.58	83.40
54	112.8	96.25	85.29

b. Pengukuran nilai total harmonic distortion (THD) tegangan dan arus

Pengujian THD (Total Harmonic Distortion) dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa pada rangkaian inverter H-Bridge terhadap nilai THD pada gelombang tegangan dan arus keluarannya.

Berikut merupakan hasil pengukuran THD tegangan dan arus dalam kondisi tidak berbeban :



Gambar 6. Hasil pengukuran THD tegangan dan THD arus

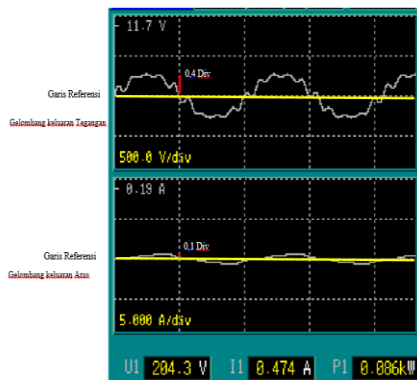
Gambar 6 merupakan hasil pengukuran nilai THD tegangan dan THD arus pada frekuensi 50 Hz, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran nilai THD tegangan sebesar 4.3% dan nilai THD arus sebesar 15.3%.

Tabel 3. Hasil Pengukuran THD tegangan dan THD arus

Frekuensi	THD-V % (Ukur)	THD-I % (Ukur)
46	5.1	7.6
48	8.6	8.9
50	4.3	15.3
52	5.5	22.0
54	6.6	9.0
Rata-rata	6.02	12.56

3.2.2. Pengujian inverter topologi H-Bridge dengan filter motor beban stand drill

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gelombang keluaran inverter dengan filter motor dalam kondisi berbeban stand drill.



Gambar 7. Gelombang tegangan keluaran inverter topologi H-Bridge dengan filter motor beban stand drill

Gambar 7. menunjukkan gelombang keluaran inverter H-bridged dengan filter motor tanpa beban. Gelombang yang dihasilkan berbentuk mendekati gelombang sinusoidal, hal tersebut dikarenakan efek filter yang digunakan merupakan jenis non linier [12]

- a. Perhitungan nilai efisiensi inverter topologi H-Bridge dengan filter motor beban stand drill.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi inverter dengan filter motor dalam kondisi tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan, arus, cos phi pada sisi masukan dan keluaran inverter. Berikut merupakan hasil pengukuran inverter dengan filter motor beban stand drill.

Tabel 4. Hasil pengukuran inverter topologi H-Bridge dengan filter motor dengan beban

f (Hz)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Cos Phi
46	309	0.34	201.7	0.6	0.77
48	309	0.36	207.3	0.562	0.83
50	309	0.38	211.1	0.538	0.901
52	309	0.4	211.6	0.519	0.954
54	309	0.41	211.3	0.533	0.968

Berdasarkan hasil data hasil pengujian pada Tabel 4 dapat dihitung nilai efisiensi dari inverter satu fasa dengan nilai perbandingan daya keluaran dibanding dengan daya input untuk beban stand drill.

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

Daya Keluaran (sampel frekuensi 50 Hz) :

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \cos \phi$$

$$P_{out} = 211.1 \times 0,538 \times 0,90$$

$$P_{out} = 102.2 \text{ W}$$

Daya Keluaran (sampel frekuensi 50 Hz) :

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

$$P_{in} = 309 \times 0.38$$

$$P_{in} = 117.42 \text{ W}$$

Dari Perhitungan tersebut maka didapatkan nilai efisiensi dari inverter adalah :

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$n = \frac{102.32}{117.42} \times 100 \%$$

$$n = 87.14 \%$$

Jadi didapatkan nilai Efisiensi sebesar 87.14%. Dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan di atas maka didapatkan :

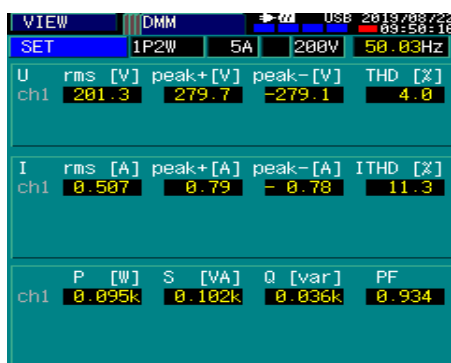
Tabel 5. Perhitungan Efisiensi Inverter dengan beban stand drill

f (Hz)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi
46	94.55	79.2792	88.92
48	100.65	89.2997	87.55
50	109.8	95.88	87.14
52	112.85	99.939	84.76
54	118.95	103.283	86.05

Berdasarkan table hasil perhitungan efisiensi inverter dengan beban stand drill untuk 5 variasi frekuensi memiliki rata – rata 86.8 %.

- b. Pengukuran nilai total harmonic distortion (THD) tegangan dan arus.

Pengujian THD (Total Harmonic Distortion) dilakukan untuk mengetahui nilai harmonisa pada rangkaian inverter H-Bridge terhadap nilai THD pada gelombang tegangan dan arus keluarannya. Berikut merupakan hasil pengukuran THD tegangan dan arus dalam kondisi berbeban :



Gambar 8. Hasil pengukuran THD tegangan dan THD arus

Gambar 8 merupakan hasil pengukuran nilai THD tegangan dan THD arus pada frekuensi 50 Hz, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran nilai THD tegangan sebesar 4.0% dan nilai THD arus sebesar 11.3%.

Tabel 6. Tabel nilai THD-V dan THD-I ketika pengukuran

Frekuensi	THD-V % (Ukur)	THD-I % (Ukur)
46	3.4	5.3
48	9.1	8.4
50	4.0	11.3
52	10.6	20.3
54	20.3	9.2
Rata-Rata	9.48	10.9

Dengan memvariasikan nilai frekuensi didapatkan nilai THD tegangan dan THD arus rata-rata sebesar 9.48% dan 10.9%

4. Kesimpulan

Inverter jenis *H-bridge* dengan kapasitor bootstrap tanpa filter dan menggunakan filter motor sudah berhasil direalisasikan. Pada pengujian inverter *H-bridge* dalam kondisi tanpa beban, didapatkan nilai efisiensi rata-rata inverter sebesar 86,07%. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai frekuensi. Pada pengujian inverter *H-bridge* dalam kondisi tanpa beban, didapatkan nilai THD tegangan rata-rata sebesar 6,02%, sedangkan nilai THD arus rata-rata sebesar 12,56%. Pada pengujian inverter *H-bridge* dalam kondisi berbeban didapatkan nilai efisiensi rata-rata inverter sebesar 86,8%. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai frekuensi. Pada pengujian inverter *H-bridge* dalam kondisi berbeban, didapatkan nilai THD tegangan rata-rata sebesar 9,48%, sedangkan nilai THD arus rata-rata sebesar 10,9%.

Referensi

- [1]. EMA Standards Publication (2007). Application Guide for AC Adjustable Speed Drive Systems. Rosslyn, VA USA: National Electrical Manufacturers Association (now The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers), p. 4. Archived from the original on April 28, 2008. Retrieved March 27, 2008.
- [2]. Hart, Daniel W., Power Electronics, vol. I, McGraw-Hill, 2011
- [3]. M. H. Rashid, Power Electronics Handbook, Florida: Elsevier, 2007..
- [4]. T. L. Skvarenina, The Power Electronics Handbook, West Lafayette, Indiana: CRC Press LLC, 2002.
- [5]. Fairchild, Design and Application Guide of Bootstrap Circuit for High-Voltage Gate-Drive IC..
- [6]. Mahardika, Tegar. Perancangan Inverter Full Bridge Resonansi Seri Frekuensi Tinggi Untuk Aplikasi Induction Cooker. Universitas Diponegoro. 2013..
- [7]. IOR Rectifier, Application Note AN-978..
- [8]. N. Instrument, "Photovoltaic Cell I-V Characterization Theory and LabVIEW Analysis Code." .
- [9]. V. Semiconductors, IGBT/MOSFET Gate Drive Optocoupler, vol. 26, 2011.
- [10]. Pluta, Wojciech A.. Core Loss Models in Electrical Steel Sheets with Different Orientation. Czestochowa University of Technology, 2011
- [11]. Zhang J. M., Comparison Study of Phase-Shifted Full Bridge ZVS Converters, Annual IEEE PESC, 2004."
- [12]. K. Smith, A Comparison of Voltage-Mode Soft-Switching Methods for PWM Converters, vol. 12, IEEE Transactions on Power Electronics, March 1997.