
PERANCANGAN INVERTER SATU FASA LIMA LEVEL MODIFIKASI *PULSE WIDTH MODULATION*

Benriwati Maharmi

Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru (STTP)
Jl. Dirgantara, No. 4, Arengka Raya Kota Pekanbaru, Riau 28289, Indonesia
Email: benriwati @sttp-yds.ac.id

Abstrak -Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu alternatif sumber energy, seperti pembangkit listrik tenaga surya. Energi surya dimanfaatkan dengan menggunakan sel surya yang menghasilkan energi listrik berupa arus searah (*Direct Current/DC*). Supaya energi listrik bisa digunakan untuk beban arus bolak balik (*Alternating Current/AC*) maka dibuatlah inverter yang berfungsi mengkonversikan tegangan dan arus searah menjadi tegangan dan arus bolak balik. Hasil pengkonversian pada inverter konvensional biasanya menimbulkan nilai harmonisa yang bisa menyebabkan terjadinya gangguan dan kerusakan pada piranti listrik. Untuk mengurangi harmonisa maka dirancanglah inverter satu fasa lima level dengan modifikasi *Pulse Width Modulation* (PWM). Rancangan inverter satu fasa lima level dengan modifikasi *Pulse Width Modulation* diharapkan dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang relatif konstan dengan nilai harmonisa yang kecil sehingga aman digunakan untuk berbagai macam peralatan elektronik. Inverter hasil rancangan jika dihubungkan dengan perangkat sel surya dan *accumulator*, bisa digunakan sebagai sumber energi listrik (energi alternatif) jika sewaktu-waktu listrik PLN mati dan juga dapat digunakan di daerah yang belum ada listrik PLN sebagai sumber energi listrik.

Kata kunci: Inverter Lima Level; Satu Fasa; *Sinusoidal*; *Pulse Width Modulation*; Perancangan.

PENDAHULUAN

Perbandingan kebutuhan energi listrik tidak sebanding dengan energi listrik yang tersedia sehingga mengakibatkan tidak semua kebutuhan akan energi listrik terpenuhi. Berdasarkan konsumsi listrik di semua sektor cenderung akan meningkat terus setiap tahunnya dengan laju pertumbuhan 9% per tahun [1]. Akibat kurangnya ketersediaan energi listrik ini memicu banyak pihak melakukan penelitian untuk mencari sumber energi baru dan terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Berdasarkan BPPT (2014) [1], pemanfaatan energi terbarukan masih relatif kecil karena tingginya biaya investasi dan kurangnya pengetahuan dalam mengadaptasi fasilitas energi terbarukan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi dimanfaatkan di Indonesia adalah energi surya. Energi surya tersedia hampir merata sepanjang tahun di Indonesia dengan intensitas radiasi rata-rata 4.8 kWh/m per hari [2]. Energi surya dimanfaatkan dengan menggunakan sel surya yang menghasilkan energi listrik berupa arus searah (*Direct Current/DC*), dapat disimpan pada *accumulator* dan juga dapat dimanfaatkan secara langsung. Untuk aplikasi beban DC sel

surya hanya memerlukan regulator sesuai dengan suplai tegangan yang diperlukan beban, sedangkan untuk beban AC sel surya memerlukan inverter untuk mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC sesuai dengan suplai tegangan yang diperlukan beban. Energi listrik yang dihasilkan sel surya masih berupa tegangan dan arus DC. Sedangkan kebanyakan alat-alat elektronik yang digunakan pada jaringan listrik adalah tegangan dan arus AC. Maka diperlukan konverter yang dapat mengkonversi tegangan dan arus DC ke tegangan dan arus AC. Supaya tegangan dan arus AC yang dihasilkan konstan (tidak merusak alat-alat elektronik) diperlukan pengaturan keluaran inverter sesuai dengan kebutuhan seperti pengaturan tegangan atau arus yang konstan.

Kebanyakan rangkaian inverter yang ada dipasaran dan umum diteliti adalah mengkonversi listrik DC menjadi AC yang berbentuk gelombang persegi (*square wave*). Rangkaian inverter yang menghasilkan gelombang persegi memiliki beberapa kelemahan, sehingga berpotensi merusak alat-alat elektronik (tegangan tidak stabil). Berdasarkan penelitian Hahn [3], banyak penelitian inverter menggunakan *Pulse Width*

Modulation (PWM). Namun, PWM mempunyai lebar *pulse* yang harus dibuat bervariasi sesuai dengan amplitudo gelombang sinus sehingga membutuhkan sirkuit kontrol dan *switching* berkecepatan tinggi [4]. Jadi inverter yang menghasilkan keluaran PWM adalah rumit dan mempunyai rugi-rugi *switching* [3]. Untuk mengurangi kelemahan ini, dilakukan penelitian merancang inverter satu fasa lima level *Pulse Width Modulation* yang akan memberikan nilai harmonik yang kecil. Paper ini bertujuan merancang inverter satu fasa lima level dengan *Pulse Width Modulation*.

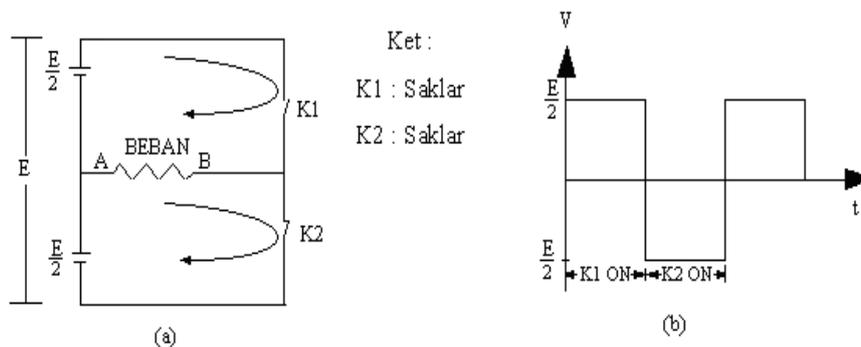
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan *battery*, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Phogat [5] dan Ismail *et al* [6] membagi inverter atas 3 tipe, yaitu: *bridge inverters*, *series inverters* dan *parallel inverter*. *Bridge inverters* dikelompokkan menjadi inverter jembatan/ setengah gelombang dan inverter jembatan/gelombang penuh.

Inverter Setengah Jembatan [6]

Inverter setengah gelombang dapat dijelaskan melalui Gambar 1. Saklar K1 dan K2, ON-OFF secara bergantian. Pada saat K1 ON, arus mengalir dari E/2 (+) ke K1, ke beban B-A, ke E/2 (-), sedangkan K2 dalam keadaan terbuka.



Gambar 1. (a) Inverter Setengah Jembatan Satu Fasa, (B) Sinyal Gelombang Keluaran

Pada waktu K2 ON sedangkan K1 terbuka, maka arus dari E/2 (+) ke beban A-B ke K2 ke E/2 (-). Dengan demikian dalam satu periode ini beban merasakan adanya arus yang mengalir dalam dua arah (bolak-balik). Besarnya tegangan pada beban adalah:

$$V_{eff} = \frac{1}{T} \int V^2 dt$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} \left(\frac{E}{2}\right)^2 dt$$

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} \left(\frac{E}{2}\right)^2 dt$$

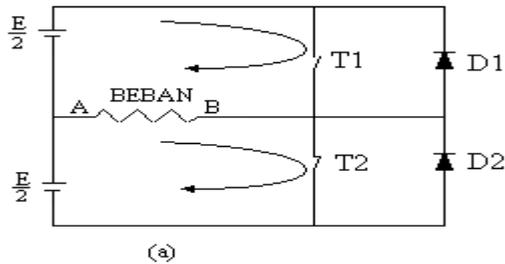
$$V_{eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{E}{2}\right)^2 (2\pi)$$

$$V_{eff}^2 = \frac{E^2}{2}$$

Jadi:

$$V_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}} \tag{1}$$

Jika saklar K1 dan K2 di ganti dengan suatu saklar elektronik yang dapat memenuhi kriteria di atas, misalnya dengan sebuah *thyristor* yang di paralel dengan dioda. Maka rangkaian inverter segi empat setengah jembatan dapat dilihat pada Gambar 2.



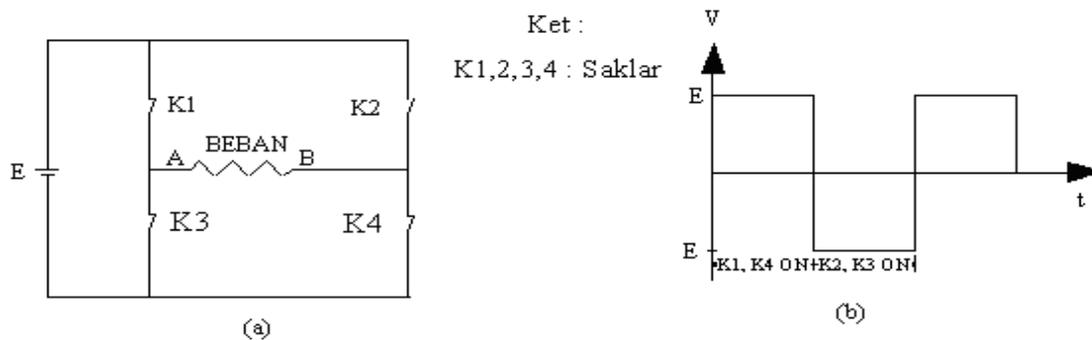
Gambar 2. Inverter Segi Empat Setengah Jembatan dengan Menggunakan Saklar Elektronik

Dari Gambar 2 dapat dilihat, saat T1 menutup, tetapi arus masih negatif, maka arus akan

mengalir melalui dioda D1. Dioda tidak akan pernah dialiri arus jika bebannya resistif murni. Dalam praktek, beban resistif murni tidak pernah ada sehingga dioda yang terhubung paralel dengan saklar selalu diperlukan.

Inverter Jembatan Penuh [6]

Rangkaian inverter jembatan/gelombang penuh satu fasa atau *H-bridge inverter* dapat dijelaskan melalui Gambar 3. Prinsip kerjanya: saklar K1 dan K4 ON – OFF secara bersamaan dan demikian juga saklar K2 dan K3.



Gambar 3. (a) Rangkaian Inverter Segi Empat Jembatan Penuh, (b) Sinyal Gelombang Keluaran

Saat K1, K4 ON dan K2, K3 OFF, maka arus akan mengalir dari sumber tegangan E (+) ke K1 lalu ke beban A-B ke K4 ke E(-). Pada saat saklar K2, K3 ON dan K1, K4 OFF, maka arus akan mengalir dari sumber tegangan E(+) ke K2 ke beban A-B ke K3 ke E (-) dengan demikian untuk satu perioda ini beban dialiri arus dalam dua arah (arus bolak-balik). Besarnya tegangan pada beban adalah:

$$v_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} v(t)^2 dt$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{\pi} E^2 dt + \int_{\pi}^{2\pi} -E^2 dt$$

$$= \frac{1}{T} [E^2 \pi + E^2 2\pi - E^2 \pi]$$

$$= \frac{2\pi E^2}{2\pi}$$

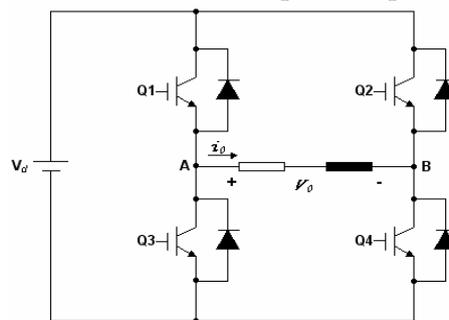
$$v_{eff}^2 = E^2$$

Jadi :

$$V_{eff} = E$$

(2)

Jika saklar K1, K2, K3 dan K4 diganti dengan komponen (saklar) elektronik yang memenuhi kriteria di atas, misalnya menggunakan MOSFET, maka inverter segi empat jembatan penuh dapat dilihat pada Gambar 4.

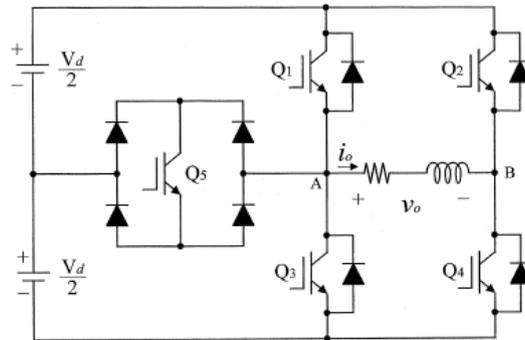


Gambar 4. Rangkaian Konvensional Inverter Segi Empat Jembatan Penuh [7]

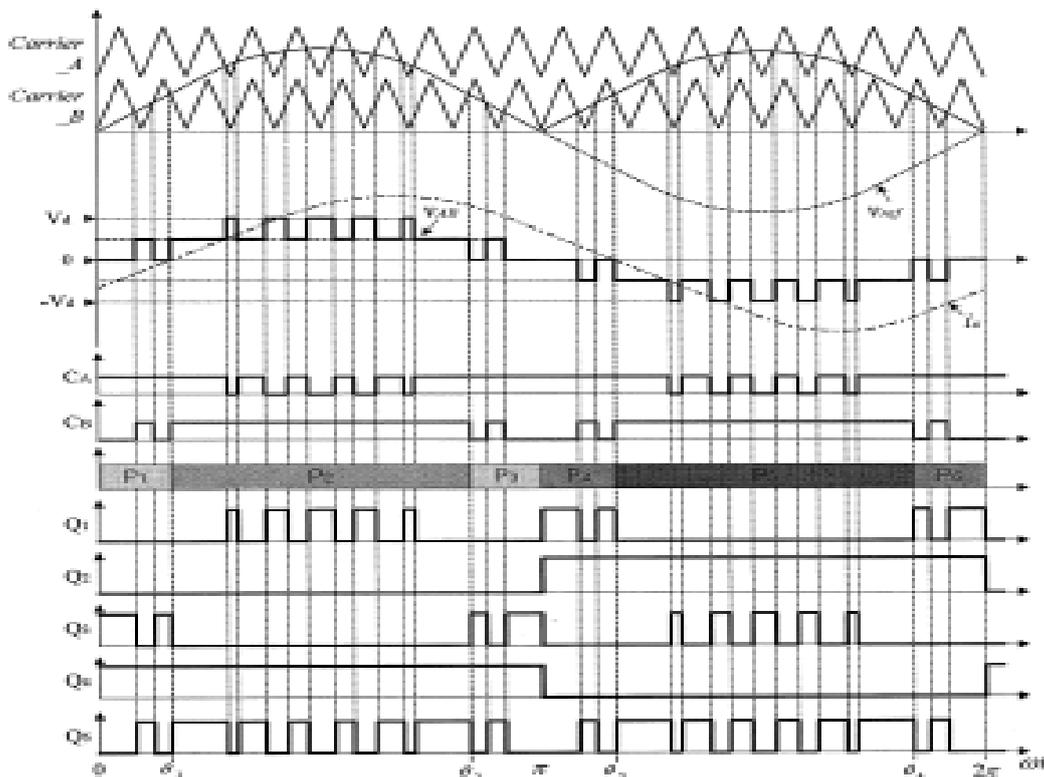
Inverter Lima Level PWM Satu Fasa [8-9]

Konfigurasi *five level* PWM inverter satu fasa diperlihatkan pada Gambar 5a. Penambahan satu transistor *switching* dan empat dioda pada *conventional* inverter satu fasa dan terhubung *center-tap* pada sumber DC, menjadi

perubahan yang nantinya akan memberikan *output* dengan *harmonic* yang rendah. Inverter ini akan bekerja dalam bentuk 10 tahap *switching* dan lima bentuk pulsa *switching* yang akan diimplementasikan pada inverter ini diperlihatkan pada Gambar 5b.



(a)



(b)

Gambar 5.(a) Konfigurasi Inverter Lima Level PWM Satu Fasa. (b). Pola *Switching* Inverter Lima Level PWM Satu Fasa.

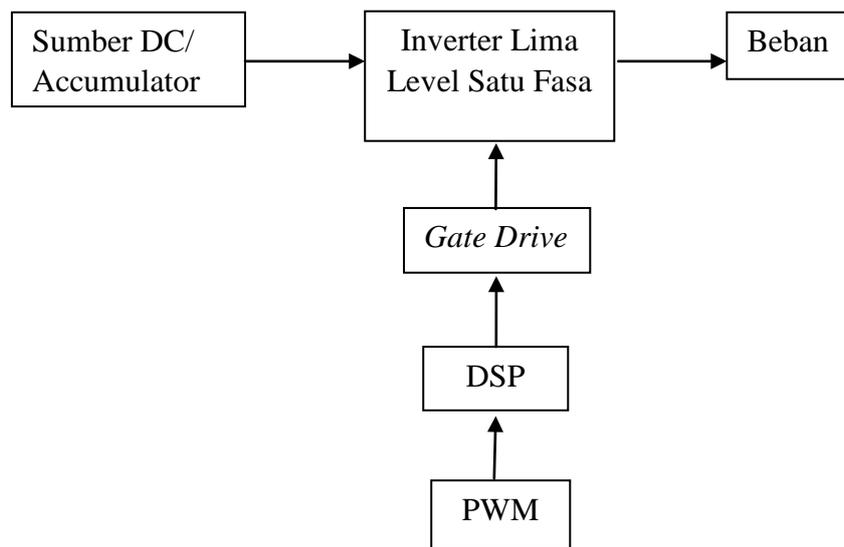
Perancangan Inverter Satu Fasa Lima Level Modifikasi *Pulse Width Modulation*

Inverter multi level merupakan susunan beberapa inverter yang dirangkai secara bertingkat (*cascade*). Rodriguez *et al* [10] menyatakan bahwa inverter yang terdiri dari

multi level menghasilkan gelombang tegangan dengan distorsi harmonisa yang kecil. Berdasarkan [10] menyatakan bahwa penggunaan metoda pengontrolan komponen

switching dapat mengendalikan frekuensi, fase, dan *amplitude* gelombang yang diinginkan. Dengan mengadopsi metoda tersebut, untuk penelitian ini dirancang inverter multi level (lima tingkat) satu fasa menggunakan sistem *switching*. Inverter yang

akan dibuat untuk penelitian ini, dengan menggabungkan *full-bridge* inverter satu fasa dengan menambah satu sistem *switching* yang terhubung dengan sumber DC. Blok diagram penelitian seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Blok Rangkaian Rancangan Inverter Lima Level Satu Fasa

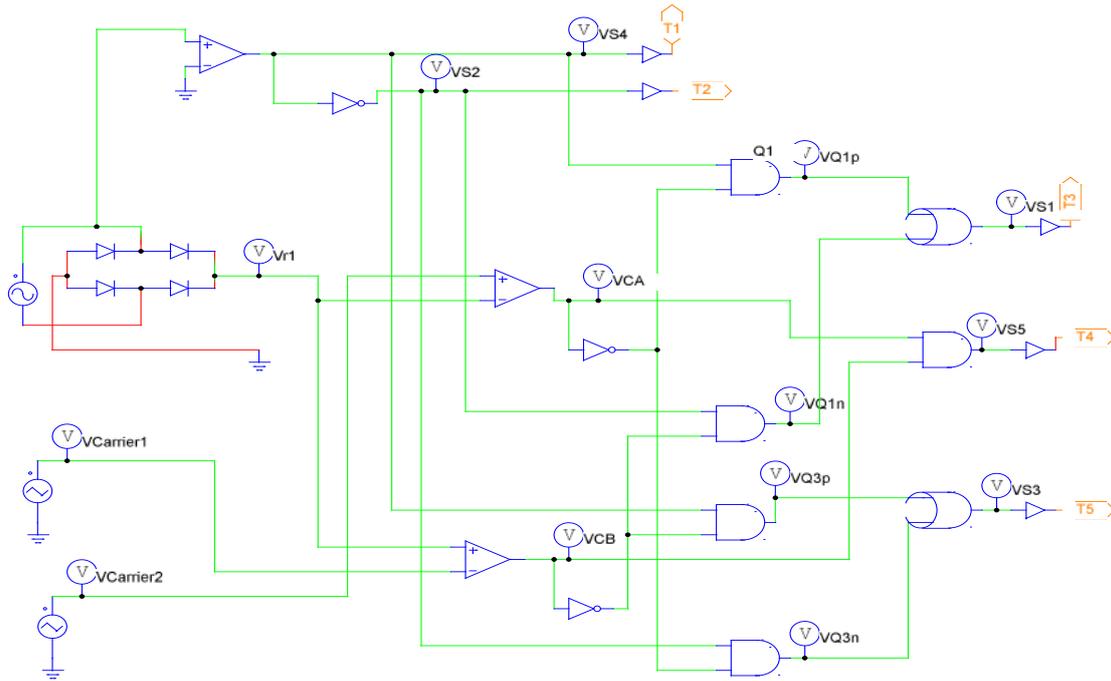
HASIL DAN DISKUSI

Blok Pulse Width Modulation (PWM)

Teknik modulasi PWM dalam perancangan berfungsi untuk menghasilkan *Pulse Width* modulasi yang berfungsi sebagai sinyal *switching* yang menjadi input pada *gate* MOSFET pada inverter satu phasa lima level. Sinyal *switching* PWM dirancang pada komputer dengan *software code composer studio V6*. Sinyal PWM yang dibangkitkan oleh *software* menghasilkan keluaran berupa gelombang persegi dalam bentuk sinyal digital. Sinyal digital PWM yang termodifikasi

ini akan dimasukkan ke dalam digital input port di modul kit DSP TMSF28355, sisi output akan dihubungkan dengan *gate drive*.

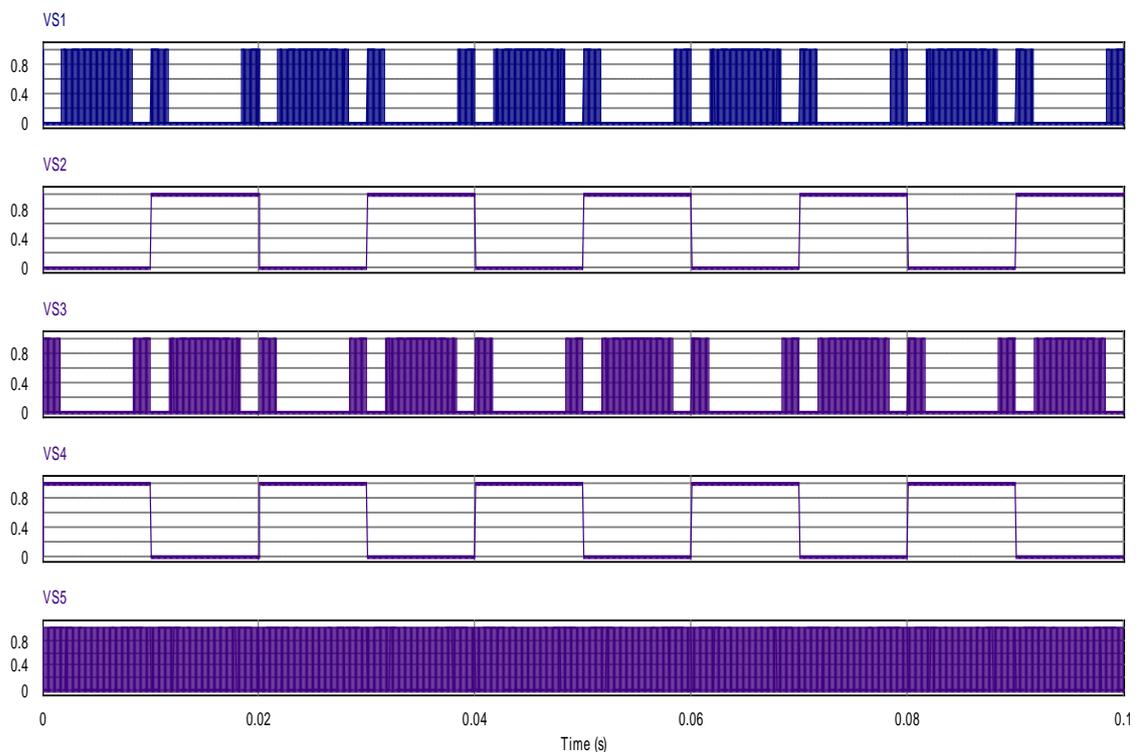
Sinyal PWM yang dirancang menggunakan *software code composer studio V6* diharapkan hasilnya menyerupai hasil PWM pada simulasi menggunakan *software* PSIM. Dalam teknik PWM ini sinyal *gate* dibangkitkan dengan sinyal referensi sinusoidal dengan gelombang pembawa *triangular*. Pada simulasi yang menggunakan *software* PSIM, rangkaian sistem PWM dirancang dengan rangkaian digital seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Digital PWM

Sistem PWM yang dibentuk menggunakan simulasi PSIM menghasilkan sinyal S1, S2, S3, S4 dan S5 yang akan menjadi sinyal *gate*

pada inverter lima level seperti pada Gambar 8.



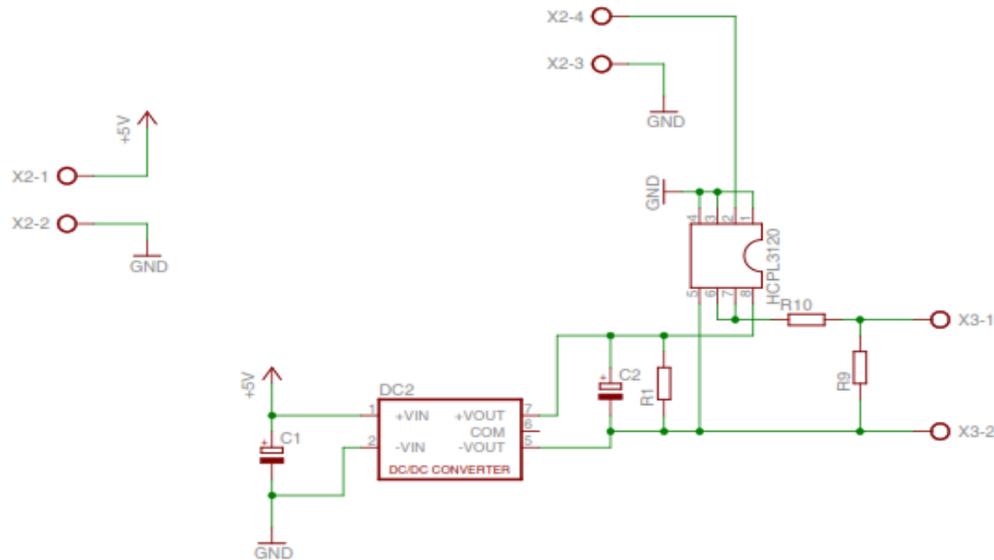
Gambar 8. Sistem PWM pada Sinyal *Gate* Inverter Lima Level

Blok Gate Drive

Rangkaian *gate drive* dibangun menggunakan IC HCPL 3120-000E, converter DC to DC

NMA0515SC dan kapasitor 10 NF. Dimana tegangan *gate* harus lebih tinggi dari tegangan *drain*, sehingga dibutuhkan *driver* MOSFET untuk memicu *gate* pada sisi MOSFET. Pada penelitian ini lima buah *driver* MOSFET

digunakan untuk memicu kelima *gate* MOSFET pada inverter satu fasa lima level yang dirancang. Adapun rangkaian *gate drive* dapat dilihat pada Gambar 9.

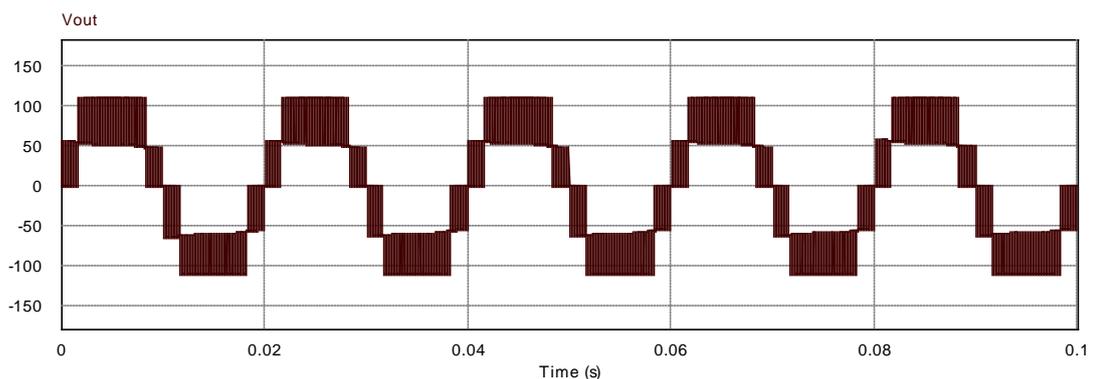


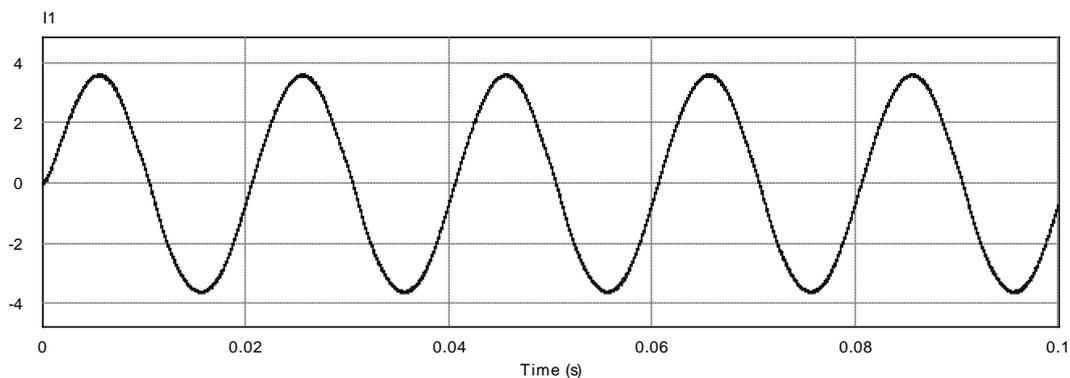
Gambar 9. *Circuit Gate Drive*

Blok Inverter Satu Fasa Lima Level

Konfigurasi yang digunakan pada perancangan ini menggunakan MOSFET dimana *drain* dihubungkan dengan sumber DC sedangkan *gate* MOSFET dihubungkan dengan Rangkaian *gate drive*. Rangkaian inverter satu fasa lima level dirancang dengan rangkaian inverter jembatan/gelombang penuh satu fasa

dan penambahan satu MOSFET dan empat dioda yang dihubungkan antara sumber DC. MOSFET yang digunakan adalah type IRFP460 sebanyak lima buah MOSFET . Dari hasil rancangan yang dibuat diharapkan hasil output tegangan dan arus inverter satu fasa lima level berupa gelombang seperti hasil simulasi PSIM seperti Gambar 10.





Gambar 10. Gelombang Tegangan dan Arus Inverter Satu Fasa Lima Level

KESIMPULAN

Inverter konvensional biasanya menimbulkan nilai harmonisa yang bisa menyebabkan terjadinya gangguan dan kerusakan pada piranti listrik. Dalam penelitian ini dirancang sebuah inverter lima level sehingga menghasilkan gelombang tegangan dengan distorsi harmonisa yang kecil. Namun, rangkaian inverter perlu dikontrol supaya frekuensi, fase, dan amplitude gelombang yang diinginkan bisa dikendalikan. Rancangan inverter menggunakan metoda pengontrolan dengan menambahkan komponen *switching*. Inverter yang dirancang dengan type inverter *full-bridge* satu fasa dengan satu sistem *switching* dibagian depan yang terhubung dengan sumber DC. Dengan menggunakan modifikasi *Pulse Width Modulation* (PWM) maka nilai harmonisa akan kecil dan menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang relatif konstan. Sehingga, rancangan inverter satu fasa lima level ini aman digunakan untuk berbagai macam peralatan elektronik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT (2014). Outlook Energi Indonesia 2014, Editor: A. Sugiyono, Anindhita, M.S. Boedoyo & Adiarso, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi (PTPSE), Jakarta. 2014.
- [2] Lubis, A. Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan, Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.8, No.2, Pages 155-162. 2007.
- [3] Hahn, J.H. Modified Sine-Wave Inverter Enhanced, Power Electronics Technology, Pages 20-22. 2006.

- [4] Gutierrez, M.J.M., F. Perez-Hidalgo, F. Vargas-Merino, J R. Heredia-Larrubia. Pulse width modulation technique with harmonic injection and frequency modulated carrier: formulation and application to an induction motor, IET Electric Power Applications, Vol.1, No.5, Pages 714-726. 2007.

- [5] Phogat, S. Analysis of single-phase SPWM inverter, International Journal of Science and Research (IJSR), Vol.3, No.8, Pages 1793-1798. 2014.

- [6] Ismail, B., S. Taib, R.M. Saad, M. Isa, C.M. Hadzer. Development of a single phase SPWM microcontroller-based inverter, First International Power and Energy Conference, Putrajaya, Malaysia, Pages 437-440. 2006.

- [7] Camur, S., Arifoglu, B., Beser, E. K. & Beser, E. A. Novel Topology for Single-Phase Five-Level Inverter Compared with H-Bridge Inverter, In International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM) 2006, IEEE, Pages 556-560. 2006.

- [8] Park, S.J., Kang, F.S., Lee, M.H., and Kim, C.U. A New Single-Phase Five-Level PWM Inverter Employing a Deadbeat Control Scheme, IEEE Transactions on power electronics Vol. 18(3), Pages 831-843. 2003.

- [9] Wang, C.M. A novel single-stage full-bridge buck-boost inverter, Applied Power Electronics Conference and Exposition, Eighteenth Annual IEEE, Vol.1, Pages 51- 57. 2003.

- [10] Rodriguez, J., Franquelo, L.G., Kouro, S., Leon, J.I., Portillo, R.C., Prats, M.A.M., Perez, M.A. Multilevel converters: an enabling technology for high-power applications. Proc. IEEE, Vol. 97(11), Pages 1786-1817. 2009.