

## ANALISIS INVERTER SATU FASA PADA KONFIGURASI *MASTER-SLAVE*

Noviarianto\*, F. Danang Wijaya, Eka Firmansyah

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, Indonesia, 55281

\*Email: novi.stl14@mail.ugm.ac.id

### Abstrak

*Inverter merupakan peralatan untuk mengkonversi sumber energi listrik DC menjadi AC. Sumber energi listrik dc diperoleh dari energi matahari dengan menggunakan panel surya. Pemilihan kapasitas daya inverter harus disesuaikan dengan sumber energi yang dihasilkan sehingga didapatkan daya dengan kapasitas yang optimal. Modul inverter dengan kemampuan kapasitas daya listrik yang relatif kecil merupakan salah satu alternatif. Walaupun kapasitasnya kecil modul inverter mempunyai sifat modular sehingga memungkinkan untuk dikembangkan. Beban listrik dengan kapasitas yang melebihi daya dari modul inverter dapat dilayani dengan cara memasang beberapa modul inverter secara paralel. Teknik master slave merupakan salah satu cara yang dapat diterapkan pada proses paralel. Dengan menjadikan salah satu modul inverter sebagai master dan modul inverter yang lain terhubung sebagai slave. Simulasi dengan software menunjukkan bahwa teknik ini dapat membagi arus 60 – 50%, kemampuan mengikuti perubahan beban yang cukup seragam dan steady state yang cepat tercapai dalam waktu 10 ms.*

**Kata kunci:** *inverter, master-slave, paralel inverter, THD*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, ekonomi dan perkembangan negara. Untuk mencukupi kebutuhan energi tersebut saat ini sebagian besar sumber energi yang dimanfaatkan adalah dari energi fosil seperti minyak bumi (Islam 2014). Penggunaan energi fosil tersebut menyisakan banyak masalah pada lingkungan dengan adanya gas buang yang dihasilkan dari sisa pembakaran minyak bumi disamping jumlahnya yang semakin sedikit. Pemanfaatan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan terus mengalami perkembangan dan menjadi salah satu pilihan. Diantara energi alternatif tersebut salah satu energi yang banyak dimanfaatkan yaitu energi matahari dengan menggunakan *photovoltaic* (PV) atau solar panel. Perkembangan pv sendiri terus mengalami peningkatan dan semakin menunjukkan nilai kompetitif secara ekonomi dari tahun ketahun dengan semakin banyaknya produksi PV (Kjaer et al. 2005). Penggunaan inverter sebagai pengubah energi yang dihasilkan dari PV menjadi listrik sangat berperan penting dalam proses konversi, karena listrik yang dihasilkan dari pv masih berupa arus searah. Hasil keluaran dari inverter adalah berupa tegangan bolak balik AC yang dapat dipakai untuk keperluan peralatan listrik pada umumnya.

Berdasarkan besar daya yang dapat dihasilkan oleh inverter pada sistem inverter yang terhubung ke jaringan *grid* terdapat tiga kategorikan model yaitu *central inverter*, *string inverter* dan *modul integrated inverter system*. *Modul integrated inverter* yaitu inverter dengan kapasitas daya yang relatif kecil sampai dengan 300W. Modul inverter menawarkan sistem yang fleksibel untuk dikembangkan dan bersifat *modular*, sistem yang independen dan tidak memerlukan pengkabelan dc serta tidak terjadinya losses karena terjadinya tidak match antar PV modul (Noor et al. 2013).

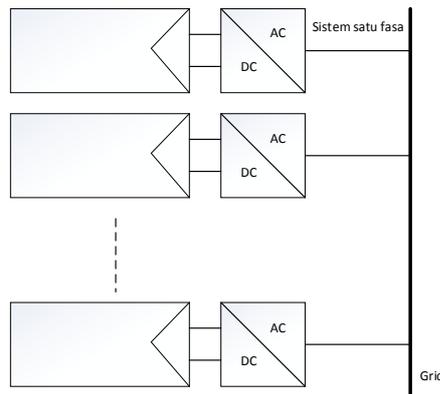
Pada paper ini membahas tentang *modul integrated inverter* yang terhubung secara paralel dengan menerapkan teknik *master-slave*. Teknik ini dapat membagi daya dari beban secara merata pada masing – masing inverter yang terhubung.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Modul Integrated Inverter

Modul integrated inverter dioperasikan langsung oleh satu atau beberapa pv dengan kapasitas dibawah 500 W (Calais et al. 2002). Inverter ini mempunyai karakteristik sistem yang fleksibel untuk dikembangkan selama dalam sistem yang modular. Kelebihan sistem ini yaitu tidak

memerlukan pengkabelan dc dan terjadinya losses dari ketidak mathingan antara modul PV (Noor et al. 2013).



**Gambar 1. Modul integrated inverter satu fasa (Noor et al. 2013)**

Modul inverter mendapatkan sumber arus dc dari PV yang selanjutnya dikonversikan menjadi ac. Sistem ini dapat berdiri sendiri maupun dihubungkan ke jaringan grid dengan memasang secara paralel terdiri dari dua atau beberapa inverter seperti pada gambar 1.

Setiap masing – masing modul yang terhubung ke dalam grid akan dapat memberikan daya sehingga total daya yang ada pada grid adalah jumlah daya keseluruhan modul yang tersambung ke grid. Fleksibilitas pada sistem modul ini yaitu daya yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban dengan mengatur jumlah modul yang tersambung ke grid.

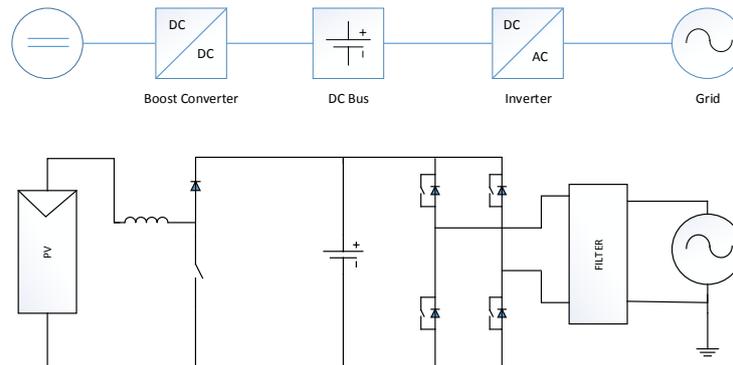
## 2.2. Inverter Topologi

Tegangan yang dihasilkan PV pada sistem modul pada umumnya berkisar antara 30 – 150 V. tegangan yang rendah ini membutuhkan pengaturan sehingga dapat menghasilkan tegangan yang sesuai pada jaringan grid. berbagai topologi dapat diaplikasikan untuk mengatur keluaran inverter ini. Topologi dengan menggunakan transformator frekuensi rendah dapat digunakan dengan sistem yang menggunakan mosfet dengan tegangan rendah yang menggunakan pola pensaklaran pada frekuensi tinggi. Pemilihan mosfet tegangan rendah banyak diaplikasikan pada industri otomotif dengan pertimbangan harga yang murah. Pada inverter dengan arus PV tinggi juga dapat menerapkan kontrol sistem ini. Penggunaan transformator frekuensi tinggi juga menjadi pilihan beberapa industri dengan alasan untuk dapat mengurangi komponen magnetik dan biaya produksi. Sistem yang lain yaitu tanpa menggunakan transformator sehingga mengurangi komponen magnetik untuk meningkatkan efisiensi. Tegangan dc yang rendah dari PV dinaikkan menggunakan *boost converter* yang kemudian dikonversi oleh inverter pada tingkat berikutnya dengan tegangan tinggi. Pada beberapa negara di eropa penggunaan sistem ini dipebolehkan tetapi di negara lain tetap menggunakan transformator (Calais et al. 2002). Gambar 2. menunjukkan inverter tanpa transformator dengan dua tingkat konversi. Tingkat pertama berupa konverter dc-dc atau *dc boost* dan tingkat berikutnya yaitu konverter dc-ac.

## 2.3 Konfigurasi Master Slave

*Power sharing* pada inverter yang terhubung secara paralel dibedakan dalam beberapa teknik. Pada teknik kendali yang memerlukan sinyal komunikasi terdapat teknik antara lain *concentrated control*, *master-slave control*, dan *distributed control* (Han et al. 2016). Teknik *master slave* yaitu dengan menjadikan salah satu inverter bekerja sebagai *master* dan inverter lain terhubung sebagai *slave* dengan mendapatkan referensi dari inverter master seperti pada penelitian yang dilakukan (Petruzzello et al. 1990), (Siri et al. 1992), (Chen & Chu 1995), (Pei et al. 2004). Struktur kendali teknik *master slave* ditunjukkan seperti pada Gambar 3. Salah satu inverter beroperasi pada sistem *voltage controller* dan berfungsi sebagai *master* sedangkan inverter yang lain terhubung dan mendapatkan referensi arus bekerja sebagai *slave*. Inverter *slave* kemudian akan menjadikan arus referensi dari inverter master dan menyamakan arus sehingga didapatkan

keseimbangan arus pada masing- masing inverter. Besarnya daya listrik yang dapat ditanggung secara keseluruhan adalah adalah total jumlah daya inverter yang terhubung.



**Gambar 2. Inverter tanpa transformator dua tingkat (Calais et al. 2002)**

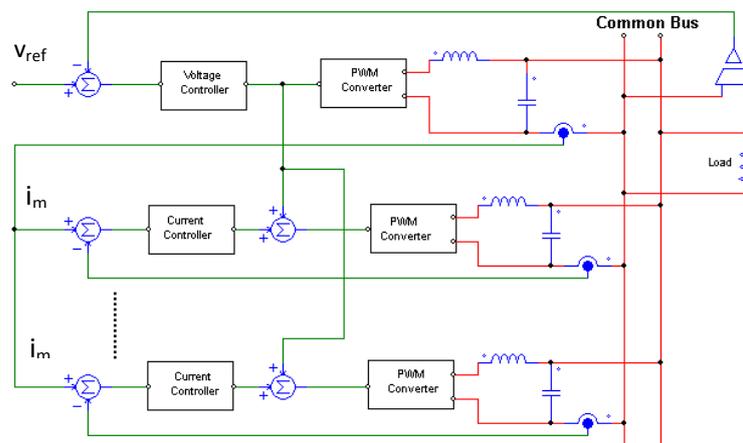
Pada paper ini teknik *master slave* disimulasikan dengan menggunakan dua buah inverter seperti pada gambar 4. Inverter master bekerja pada sistem *voltage controller* dengan kapasitas daya dibatasi 600 VA. Metode pensaklaran menggunakan pola *sinusoidal pulse width modulator* (SPWM) *full bridge* dengan frekuensi pensaklaran 20kHz. Pada keluaran inverter dipasang filter induktor untuk mengurangi harmonik yang ditimbulkan dari proses pensaklaran. Tegangan yang dihasilkan dari inverter master ini adalah 220Vrms dengan menggunakan sumber dc bus sebesar 400 V. Umpan balik dari tegangan keluaran dibandingkan dengan sinyal referensi sinusoidal 50 Hz dan tegangan sebesar 1 V. Hasil keluaran inverter tersambung ke beban resistif dengan variasi beban yang disimulasikan dalam paper ini. Nilai variasi beban 150 W , 300 W, 600 W dan 450 W.

Jika daya yang dihasilkan dari inverter adalah sebesar

$$P = V.I . \cos \varphi \tag{1}$$

Dengan menggunakan beban resistif dianggap  $\cos \varphi$  adalah 1 dan nilai tegangan yang sama pada masing – masing inverter yang terhubung maka nilai daya P merupakan perubahan dari nilai arus I, sehingga pada sistem yang diparalel jumlah daya keseluruhan adalah

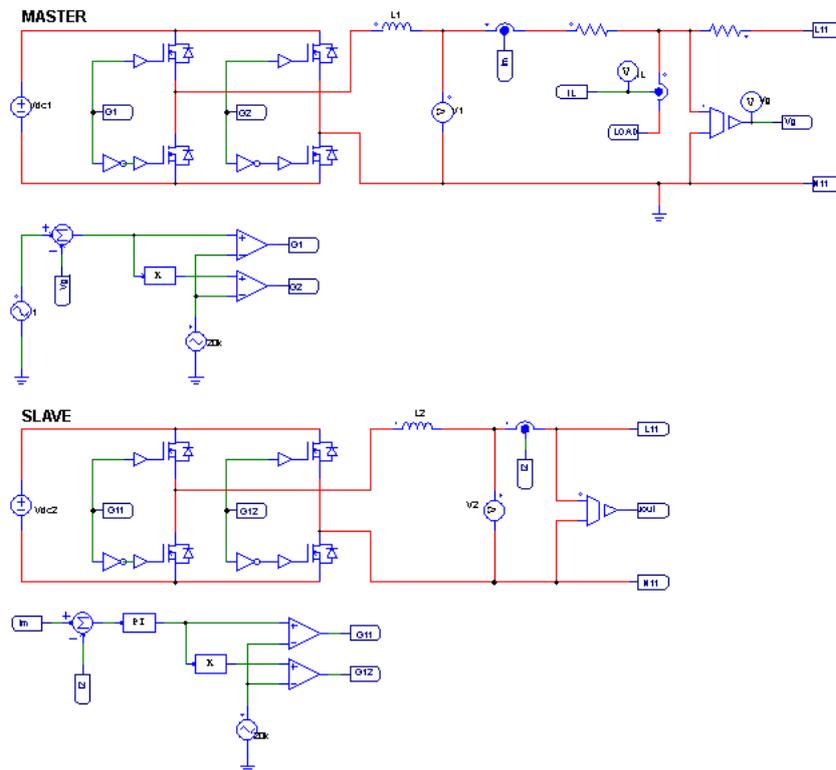
$$I_{total} = I_{inv1} + I_{inv2} + \dots + I_{invN} \tag{2}$$



**Gambar 3. Kendali master-slave (Han et al. 2016)**

Arus inverter master dijadikan referensi pada inverter slave. Dengan pola pensaklaran SPWM full bridge didapatkan daya keluaran yang terhubung ke inverter master untuk mensuplai beban. Daya pada inverter slave ini besarnya sama dengan master sebesar 600VA. Pembagian daya setelah inverter slave bekerja adalah

$$I_{inv1} = I_{inv2} = \dots = I_{invN} = \frac{1}{N} \times I_{load} \quad (3)$$



**Gambar 4. Simulasi master slave dengan kendali**

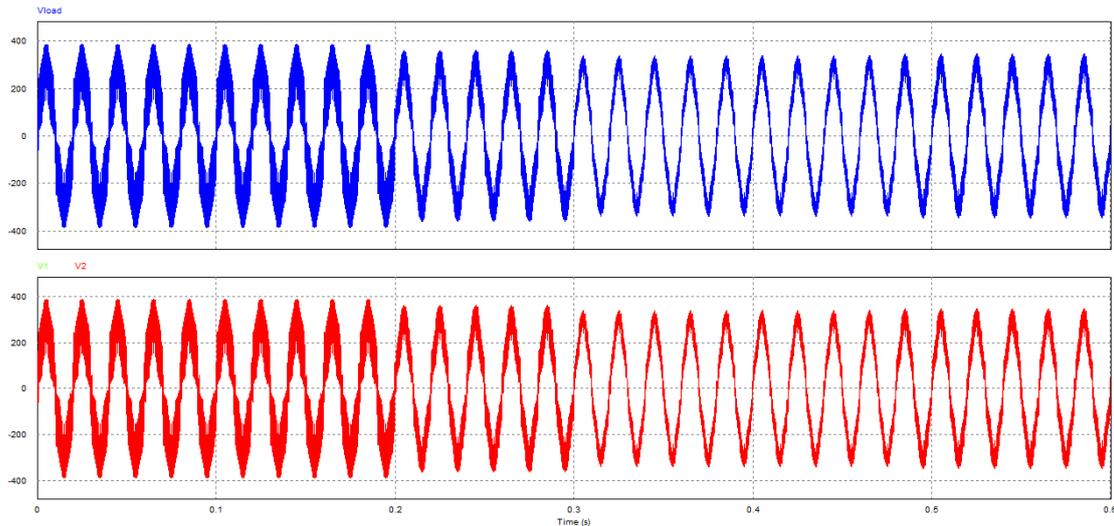
### 3. HASIL PEMBAHASAN

Pengujian sistem master-slave pada penelitian ini menggunakan bantuan software PSIM untuk mendapatkan gambaran hasil dari proses paralel dan sharing daya pada masing-masing inverter. Parameter pada inverter yang digunakan dalam pengujian seperti ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1. Parameter inverter**

Inverter switching frequency	20 kHz
Dc voltage	400 V
Output voltage	220 V
Frequency	50 Hz
Capacity	600 VA
Inductor	4 mH

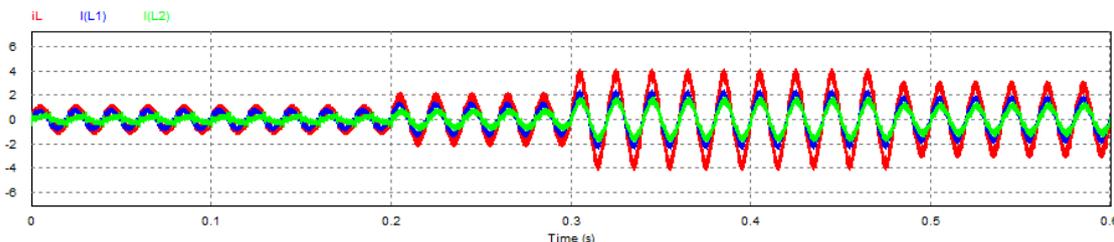
Simulasi beban dilakukan dengan melakukan perubahan dan variasi pada beban dimulai dari beban terkecil 150W sampai 600W. Hasil dari simulasi yang dilakukan didapat bentuk gelombang tegangan dengan berbagai kondisi pembebanan seperti pada gambar 5. Gambar 5 bagian atas bentuk gelombang berwarna biru (Vload) adalah tegangan pada sisi beban dengan nilai 219,4V dengan pembebanan 150W didapat pada waktu pengukuran 0 – 200 ms. Kondisi beban 300W tegangan mengalami sedikit penurunan menjadi 211,4 V ditunjukkan pada waktu pengukuran 200-300ms. Pembebanan maksimal sebesar 600W pada 300 – 500 ms tegangan menunjukkan nilai 207,3 V. Perubahan beban menjadi 450W pada 500 ms menyebabkan tegangan sedikit berubah menunjukkan 208,2 V.



**Gambar 5. Tegangan pada beban dan pada inverter**

Sedangkan tegangan yang terjadi pada inverter1 dan inverter 2 mempunyai nilai yang sedikit lebih besar dari tegangan pada beban. Respon perubahan tegangan antara inverter 1 dan 2 terjadi secara serempak mengikuti perubahan beban.

Gambar 6 menunjukkan respon arus mengikuti perubahan pada beban. Bentuk gelombang yang dihasilkan menunjukkan paralel pada daya yang kecil 300 VA beban lebih banyak di suplai oleh inverter 1 dibandingkan inverter 2. Arus pada beban menunjukkan 1,2 A sedangkan arus pada inverter 1 dan 2 masing – masing 0,566 A dan 0,366 A. Pada pembebanan 600 VA arus beban menunjukkan 2,229 A sedangkan inverter 1 dan 2 masing - masing 1,078 A dan 0,892 A.



**Gambar 6. Arus pada beban  $i_L$ , inverter master  $i(L1)$  dan inverter slave  $i(L2)$**

Pembebanan maksimum sebesar 1200VA didapatkan arus pada beban sebesar 4,188 A dan pada inverter 1 dan 2, masing – masing 2,078 A dan 1,876 A. pada pembebanan sebesar 900 VA menunjukkan arus sebesar 3,215 A dengan arus 1,58 A dan 1,39 A pada inverter 1 dan 2. Respon terhadap kondisi perubahan beban dapat dilayani secara serempak oleh masing – masing inverter.

THD arus pada beban 300VA didapatkan 0,75% , sedangkan pada inverter 1 dan 2 masing – masing 0,52% dan 1,49%. Pada beban 600VA didapatkan THD arus sebesar 0,46% dan pada inverter 1, 2 masing – masing 0,38% dan 0,65%. Pada beban 1200VA didapatkan THD arus sebesar 0,26% dan pada inverter 1, 2 masing - masing 0,24% dan 0,30%. Pada beban 900VA THD arus didapat 0,33% dan pada inverter 1, 2 masing – masing 0,29 % dan 0,41%. THD arus terbesar didapat pada beban 300VA dengan nilai tertinggi pada inverter slave sebesar 1,49%. Nilai THD arus masih termasuk baik karena dibawah 5%

#### 4. KESIMPULAN

Paralel inverter dengan teknik *master slave* telah disimulasikan dalam paper ini. Berbagai variasi perubahan beban mampu ditangani dengan cukup baik. Sharing daya pada masing - masing inverter dilakukan secara cukup seimbang. Pada pembebanan yang besar menunjukkan sharing daya terjadi dengan cukup baik dengan nilai THD arus yang dihasilkan menunjukkan nilai yang baik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Calais, M. et al., 2002. Inverters for Single-phase Grid Connected Photovoltaic Systems - An Overview. , 2, pp.1995–2000.
- Chen, J. & Chu, C., 1995. Combination Voltage-Controlled and Current-Controlled PWM Inverters for UPS Parallel Operation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 10(5), pp.547–558.
- Han, H. et al., 2016. Review of Power Sharing Control Strategies for Islanding Operation of AC Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(1), pp.200–215.
- Islam, M.R., 2014. *Power Converters for Small- to Large-Scale Photovoltaic Power Plants*, Springer-Verlag Berlin.
- Kjaer, S.B., Pedersen, J.K. & Blaabjerg, F., 2005. A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(5), pp.1292–1306.
- Noor, S.Z.M. et al., 2013. A Review of Single-Phase Single Stage Inverter Topologies for Photovoltaic System. *IEEE*, pp.69–74.
- Pei, Y. et al., 2004. Auto-Master-Slave Control Technique of Parallel Inverters in Distributed AC Power Systems and UPS. *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp.2050–2053.
- Petruzzello, F., Ziogas, P.D. & Joos, G., 1990. A Novel Approach to Paralleling of Power Converter Units with True Redundancy. *IEEE*.
- Siri, K., Lee, C. & Wu, T.F., 1992. Current Distribution Control For Parallel Connected Converters : Part I. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System*, 28(3), pp.829–840.