Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Asnil ^{#1}, Krismadinata ^{#2}, Irma Husnaini ^{#3}

[#] Teknik Elektro Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka. Air Tawar Padang, Sumatera Barat-Indonesia

¹ asnil81@ft.unp.ac.id, ² krisma@ft.unp.ac.id, ³ irma_hnni@yahoo.com

Abstrak— Makalah ini membahas mengenai metode konduksi sebuah inverter tiga fasa dengan sumber tegangan (VSI) dalam upaya mengurangi Total Harmonic Distortion (THD) tegangan keluaran untuk penggunaan pada pembangkit listrik tenaga surya. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, digunakan metode konduksi 150° , dimana setiap saklar pada inverter tiga fasa terkonduksi selama periode waktu 150° . Jika dibandingkan dengan metode konduksi 120° dan metode konduksi 180° sebagai mana yang banyak digunakan pada inverter tiga fasa, maka metode konduksi 150° menunjukkan pengurangan THD tegangan keluaran yang lebih baik. Dari simulasi yang dilakukan, metode konduksi 150° menghasilkan tegangan fasa keluaran 7 level. Jika dibandingkan dengan metode konduksi 180° dan 120° yang tegangan fasa keluarannya hanya 4 level dan 3 level. Nilai THD inverter tiga fasa menggunakan sudut konduksi 120° didapatkan sebesar 31,09%, menggunakan sudut konduksi 180° didapatkan sebesar 31,10%, namun menggunakan sudut konduksi 150° didapatkan sebesar 16,85%. Metode konduksi 150° dapat menurunkan nilai THD yang signifikan yakni sebesar 53,31%. Dengan kata lain semakin kecil THD maka bentuk keluaran akan semakin mendekati sinusoidal sehingga kinerja inverter juga akan semakin baik.

Kata Kunci — Inverter, metode konduksi, Total Harmonic Distortion (THD)

I. PENDAHULUAN

Inverter dipakai pada banyak aplikasi, seperti *Variable Frequency Driver (VFD)*, filter aktif, UPS, FACTS, *Power Generation System*, *Grids*, *Renewable Sources (Photovoltaic System)*, *Fuel cells*, *wind farms* dan pengaturan kecepatan motor [1], [2], [3]. Idealnya sebuah inverter memiliki bentuk tegangan keluaran sinusoidal namun dalam prakteknya tidak sinusoidal dan juga mengandung harmonik. Gelombang keluaran persegi ataupun yang dimodifikasi (*quasi square wave*) memungkinkan untuk dipakai pada aplikasi daya rendah dan menengah, namun untuk aplikasi daya tinggi dibutuhkan bentuk sinusoidal dengan distorsi yang seminimal mungkin. Mengurangi nilai riak tegangan keluaran dapat digunakan topologi multi level inverter namun kelemahannya membutuhkan lebih banyak komponen semikonduktor dan sistem kontrol yang lebih kompleks [4], [5], [6]. Cara lain yang dapat digunakan untuk mengurangi riak tegangan

keluaran dari inverter adalah dengan menggunakan teknik pensaklaran [7].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Inverter dipakai pada banyak aplikasi yang fungsi utamanya adalah untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Untuk pemilihan inverter tersedia berbagai topologi sesuai dengan kebutuhan seperti *Voltage Source Inverter (VSI)* dan *Current Source Inverter (CSI)* baik satu fasa, tiga fasa ataupun multilevel. VSI memberikan kinerja yang lebih baik dan juga lebih efisien dari pada CSI [8].

Rangkaian dasar inverter tiga fasa dapat dilihat pada gambar 1, terdiri dari 6 buah komponen pensaklaran dengan sudut konduksi yang berbeda. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, inverter merupakan komponen utama untuk mengkonversikan tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik sesuai dengan kebutuhan beban.

Gambar 1. Inverter tiga fasa

Teknik pensaklaran yang umum digunakan adalah 120° dan 180° . Namun pada tulisan ini digunakan teknik pensaklaran dengan sudut konduksi 150° yang kemudian dibandingkan dengan sudut konduksi 120° dan 180° . Metode ini diterapkan pada rangkaian seperti gambar 1 dengan beban seimbang yang dihubungkan secara bintang.

A. Teknik pensaklaran 120°

Inverter tiga fasa dengan metode konduksi 120° memungkinkan setiap komponen pensaklaran akan terkonduksi selama periode waktu 120° . Pada metode ini, dua saklar akan konduksi secara bersamaan selama selang waktu 60° . Operasi pensaklaran untuk metode konduksi 120° dapat dilihat pada tabel 1.

TABEL I
KONFIGURASI PENSAKLARAN INVERTER TIGA FASA
MODE KONDUKSI 120°

Interval	Durasi	Saklar						
1	120°	S1	S2					
2	120°		S2	S3				
3	120°			S3	S4			
4	120°				S4	S5		
5	120°					S5	S6	
6	120°						S6	S1

Setiap 60°, salah satu saklar akan terputus atau *off* dan saklar yang lain akan terhubung atau *on*. Dengan kata lain, terdapat delay waktu selama $\pi/6$ antar saklar *off* dan *on* sehingga tidak ada kemungkinan terjadi hubung singkat. Untuk menghitung nilai rms tegangan keluarannya dapat digunakan persamaan (1).

$$V_{AN} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_{DC}}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{3}\right) \sin\left(n\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)\right) \dots (1)$$

B. Teknik pensaklaran 180°

Pada metode ini, setiap saklar akan konduksi selama 180° dan tiga saklar akan konduksi secara bersamaan. Dua buah saklar dari group positif dan satu saklar dari group negatif atau sebaliknya. Sama halnya dengan metode 120°, metode ini juga pada setiap 60° terjadi pergantian pensaklaran *off* dan *on*. Pada metode ini, kemungkinan adanya hubung singkat antar saklar bisa terjadi karena tidak ada terdapat waktu tunda untuk *on* dan *off* dari saklar group positif dan negatif atau sebaliknya. Untuk menghitung nilai tegangan keluaran dapat digunakan persamaan (2).

$$V_{AN} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_{DC}}{\sqrt{3}n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{3}\right) \sin(n\omega t) \dots (2)$$

Operasi pensaklaran untuk metode konduksi 180° dapat dilihat pada tabel 2.

TABEL II
KONFIGURASI PENSAKLARAN INVERTER TIGA FASA
MODE KONDUKSI 180°

Interval	Durasi	Saklar						
1	120°	S1	S2	S3				
2	120°		S2	S3	S4			
3	120°			S3	S4	S5		
4	120°				S4	S5	S6	
5	120°					S5	S6	S1
6	120°						S6	S1 S2

C. Teknik pensaklaran 150°

Teknik pensaklaran menggunakan metode konduksi 150°, setiap saklar akan terkonduksi selama priode waktu 150°. Berbeda dengan metode pensaklaran 120° dan 180°, metode pensaklaran 150° terdiri dari dua belas tahap pensaklaran dan durasi konduksi dari setiap saklar adalah selama 30° seperti yang terdapat pada tabel 3. Tahap pertama terdapat tiga saklar yang terkonduksi secara bersamaan berikutnya dua saklar yang terkonduksi secara bersamaan selama 30° kedua. Begitu seterusnya berulang untuk tahapan 30° berikutnya sampai dua belas tahap hingga terbentuk satu gelombang penuh. Secara rinci, operasi pensaklaran untuk metode konduksi 150° dapat dilihat pada tabel 3.

Untuk menghitung nilai tegangan keluaran dapat digunakan persamaan (3).

$$V_{AN} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[4 + \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) + \cos\left(\frac{n\pi}{3}\right) - \cos\left(\frac{2n\pi}{3}\right) - 2\cos\left(\frac{5n\pi}{6}\right) - \cos\left(\frac{4n\pi}{3}\right) + \cos\left(\frac{5n\pi}{3}\right) + 2\cos\left(\frac{11n\pi}{6}\right) \right] \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \dots (3)$$

TABEL III
KONFIGURASI PENSAKLARAN INVERTER TIGA FASA
MODE KONDUKSI 150°

Interval	Durasi	Saklar						
1	30°	S1	S2	S3				
2	30°		S2	S3				
3	30°		S2	S3	S4			
4	30°			S3	S4			
5	30°			S3	S4	S5		
6	30°				S4	S5		
7	30°				S4	S5	S6	
8	30°					S5	S6	
9	30°					S5	S6	S1
10	30°						S6	S1
11	30°						S6	S1 S2
12	30°							S1 S2

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan unjuk kerja rangkaian seperti pada gambar 1. Parameter yang digunakan adalah $V_{dc} = 240$ volt, dihubungkan dengan beban resistor yang dihubungkan bintang, masing-masing 100 Ohm. Gambar 2, gambar 3 dan gambar 4 adalah bentuk gelombang tegangan keluaran antar fasa, masing-masing menggunakan metode konduksi 120°, konduksi 180° dan konduksi 150°.

Gambar 2. Tegangan antar fasa dengan metode konduksi 120°

Gambar 5. Tegangan fasa netral dengan metode konduksi 120°

Gambar 3. Tegangan antar fasa dengan metode konduksi 180°

Gambar 6. Tegangan fasa netral dengan metode konduksi 180°

Gambar 4. Tegangan antar fasa dengan metode konduksi 150°

Gambar 7. Tegangan fasa netral dengan metode konduksi 150°

Perbedaan masing-masing tegangan terletak pada level tegangan keluaran. Metode konduksi 120° menghasilkan tegangan antar fasa keluaran 4 level, metode konduksi 180° menghasilkan tegangan antar fasa keluaran 3 level dan metode konduksi 150° menghasilkan tegangan keluaran antar fasa 5 level. Dengan demikian, bentuk gelombang yang mendekati bentuk sinusoidal adalah inverter dengan metode konduksi 150° . Dengan artian semakin banyak level tegangan maka gelombang tegangan tersebut akan semakin mendekati bentuk sinusoidal.

Pada gambar 5, gambar 6 dan gambar 7 terlihat perbedaan bentuk tegangan fasa netral masing-masing metode konduksi yang digunakan. Metode konduksi 120° menghasilkan tegangan keluaran inverter fasa netral 3 level, metode konduksi 180° menghasilkan tegangan keluaran inverter fasa netral 4 level dan metode konduksi 150° menghasilkan tegangan keluaran inverter fasa netral 7 level. Dengan demikian metode konduksi 150° juga menghasilkan bentuk tegangan keluaran fasa netral lebih baik dari pada metode 120° dan metode 180° . Hasil lain yang didapatkan adalah hasil simulasi menggunakan metode konduksi 120° dan 180° antar fasa adalah kebalikan dari hasil tegangan fasa netralnya.

Pada gambar 8, gambar 9 dan gambar 10 dapat dilihat analisa presentasi harmonik dari tegangan fasa netral untuk setiap metode konduksi yang digunakan.

Gambar 8. Persentase harmonik dengan metode konduksi 120°

Gambar 9. Persentase harmonik dengan metode konduksi 180°

Gambar 10. Persentase harmonik dengan metode konduksi 150°

TABEL 4
PERBANDINGAN HASIL MASING-MASING KONFIGURASI
PENSAKLARAN

Parameter	120°	150°	180°
Tegangan antar fasa	4 level	5 level	3 level
Tegangan fasa fasa	3 level	7 level	4 level
Persentase (%) THD	31,09	31,10	16,85

Masing-masing metode konduksi yang digunakan 120°, 180° dan 150° menghasilkan nilai Total Harmonic Distortion (THD) sebesar 31,09 %, 31,10% dan 16,85%. Dengan demikian menggunakan metode konduksi 150° dapat mengurangi nilai THD sampai 45,82%.

IV. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan, metode konduksi 150° dapat mengurangi nilai THD tegangan fasa netral inverter mencapai 45,82%. Menghasilkan bentuk gelombang tegangan keluaran menjadi 7 level sehingga lebih mendekati bentuk sinusoidal. Dengan demikian metode konduksi 150° menghasilkan nilai THD yang lebih kecil dan unjuk kerja sistem lebih baik dari pada metode konduksi 120° dan metode konduksi 180°.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Suganya Devi, et al, *Performance Improvement of Induction Motor Using Multilevel Inverter*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Certified Journal, September 2014
- [2] DarshanPrajapati, et al, *A Comparative Study of Three Phase 2-Level VSI with 3-Level and 5-Level Diode Clamped Multilevel Inverter*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 4, Issue 4, April 2014.
- [3] Atif Iqbal and Shaikh Moinuddin, *Assessment Of Torque Pulsation In Inverter Fed Three-Phase Induction Motor Drive For 180° And 150° Conduction Modes*, International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences (ICTES 2007).
- [4] N. Srinivasa reddy, et al, *Elimination of Natural Harmonics in Square Wave Inverter*, IJAICT, Vol 2, Issue 11 March 2016 , pp 1103-1107
- [5] Krismadinata, Asnil, Irma Husnaini, dan Hendri, *Microcontroller Based Multilevel Inverter for Photovoltaic System*, Advanced Science Letters, Vol. 23, 3825-3863, 2017, pp 2859-3863
- [6] Ebrahim Babaei, Mehdi Mahaei "Improving Output Voltage of Three Phase Six-Switch Inverters" TELKOMNIKA, Vol.9, No.3, December 2011, pp. 497-502.
- [7] Mahendra G Mathukiya, *3 Phase Inverter With 180° and 120° Conduction Mode*, IJMTER, Vol 4, Issue 3, March 2017, pp 113-118
- [8] Ramesh Parmar, V.J. Rupapara, *Three-Phase Voltage Source Inverter with 150° Conduction Mode*, National Conference on Emerging Trends in Computer & Electrical Engineering (ETCEE) 2014, Atmiya Institute of Technology & Science, Rajkot, pp 129-132.