

DESAIN TIGA FASE *UNIFORM PULSE-WIDTH MODULATION (UPWM)* DENGAN *DSPIC30F4011* GUNA MENGATASI DIP TEGANGAN DAN INTERUPSI

Stepanus¹, Eva Magdalena Silalahi², Jalius Salebbay³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

E-mail: 1gabrielstepanus80@gmail.com

E-mail: 2eva.silalahi@uki.ac.id

E-mail: 3salebbay@gmail.com

Abstrak

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah aset yang vital dalam kehidupan sehari-hari, sehingga penggunaan elektronika daya atau konverter sudah menjadi hal yang biasa. Pada umumnya konverter dibagi menjadi dua yaitu konverter sumber tegangan dan konverter sumber arus. Konverter membutuhkan sinyal pemicuan yang dibangkitkan secara analog maupun digital agar dapat bekerja. Teknik pemicuan terus berkembang hingga saat ini, pemakaian mikrokontroler digunakan guna mengganti pemicuan analog agar lebih stabil gelombang keluarannya. DsPIC30f4011 adalah mikrokontroler yang terspesifikasi khusus yang mendukung pembangkitan sinyal UPWM tiga fasa, diantaranya pengaturan dead time, complementary mode dan center aligned mode. Dalam penelitian ini dirancang inverter full bridge tiga fasa dengan teknik pemicuan UPWM berbasis mikrokontroler dsPIC30f4011 dan pembangkitan sinyalnya dilakukan melalui senarai program. Sinyal carrier dirancang 10 kHz dengan indeks modulasi (m_a) dapat diatur pada rentang nilai $0 \leq m_a \leq 1$ dan frekuensi sinyal referensi pada nilai 0 – 50 Hz. Bentuk gelombang tegangan output VLL yang dihasilkan divariasikan secara linier terhadap indeks modulasi pada rentang frekuensi 0 – 50 Hz. Nilai LVUR dan IUR (rasio ketidakseimbangan tegangan dan arus).

Kata kunci : Inverter full bridge, UPWM, dsPIC30f4011, LVUR, IUR

Abstract

Electrical energy system now is an important asset in daily life so the use of electrical power or converter are common. Converter are usually divide into converter current source and converter voltage source. Converter needs an analog or a digital trigger signal to make it work. This kind of triggering keeps on developing of using microcontroller to change the analog trigger signal to stabilize the wave output. DsPIC30f4011 is a microcontroller having special features to support the three-phase UPWM signal generation including dead time setting, complementary modes and center aligned mode. In this study, three-phase full bridge inverter with UPWM switching technique microcontroller dsPIC30f4011 was designed and implemented. The carrier signal was set 10 kHz with modulation index (m_a) $0 \leq m_a \leq 1$, and the reference signal frequency was 0 - 50Hz. The experimental results showed that PWM signal generated by microcontroller matched with UPWM characteristic. The measured, line to line output voltage waveforms of the inverter were almost sinusoidal and the waveform can be varied linearly according to the modulation index in the range of $0 \leq m_a \leq 1$ with frequency range in 0-50 Hz. Finally, line voltage unbalance ratio (LVUR) and current unbalance ratio (IUR) generated by the proposed circuit.

Keywords: Inverter full bridge, UPWM, dsPIC30f4011, LVUR, IUR.

I. Pendahuluan

a. Latar belakang

Listrik merupakan salah satu aspek penting, karena listrik merupakan sumber tenaga yang digunakan untuk mendukung berbagai kegiatan- kegiatan manusia. Bahkan tidak hanya itu, listrik menjadi salah satu aspek penting dalam kehidupan karena di era modern ini banyak perkembangan yang dilakukan terkait energi listrik. Karena fungsi listrik yang vital ini, maka aspek-aspek yang terkait pada dunia kelistrikan memerlukan perhatian yang lebih. Mulai dari bagaimana listrik tersebut dapat dihasilkan kemudian disalurkan hingga dapat tersalurkan ke beban yang berupa peralatan-peralatan dapat bekerja dan beroperasi dengan baik. Dalam sistem kelistrikan diperlukan pengamatan yang lebih karena terdapat beberapa permasalahan yang mungkin bisa terjadi. Permasalahan dalam dunia kelistrikan yang mungkin terjadi yaitu: *dropvoltage, swell, voltage dip (sag), undervoltage, overvoltage, interruption, flicker,harmonicdistortion, short circuit*, dan sebagainya. Salah satu permasalahan yang terjadi pada sistem kelistrikan yaitu adanya *Voltage Sags And Interruptions*. *Voltage Sags And Interruptions* sendiri merupakan salah satu jenis permasalahan listrik.

Voltage sag atau yang sering juga disebut sebagai *voltage dip* merupakan suatu fenomena penurunan tegangan rms dari nilai nominalnya yang terjadi dalam waktu yang singkat, sekitar 10 ms sampai beberapa detik. IEC 61000-4-30 mendefinisikan *voltage sag (dip)* sebagai penurunan besar tegangan sementara pada titik di bawah nilai thresholdnya. Sedangkan berdasarkan IEEE Standard 1159-1995, *voltage sag* merupakan variasi tegangan rms dengan besar antara 10% sampai 90% dari tegangan nominal dan berlangsung selama 0,5 siklus sampai satu menit. Pengguna akhir industri harus memahami mengapa mereka harus khawatir tentang tegangan sags di fasilitas mereka dan bagaimana tingkat keparahannya dari tegangan sag dapat dikuantifikasi kemudian terkait dengan sensitivitas peralatan pabrik yang dipasang, hal penting ini disampaikan oleh Alan Finch dalam tulisan berjudul *A Cement Plant's Experience in Investigating Power Sags Leads to a Reduction in Kiln Outages by Utilizing Power Hardening Methods in IEE Journals and magazines*,vol.52,no. 5, Sep-Okt 2016.

Namun ada metode yang dapat meminimalisir gangguan tersebut yaitu dengan Pulsa Modulasi, listrik sirkuit dan stabilitas sinyal kecil, metode ini disampaikan oleh Zhijun Wang dalam penelitiannya berjudul *—Impact of Voltage Sags on Electric-Vehicle Charger and Critical Voltage Sag Determination in IEE Journals and magazines*,vol.31,no.3, Juni 2016. Oleh sebab itu salah satu upaya yang digunakan adalah penggunaan ferresonansi. Alasan ini dibuktikan oleh I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, dkk dalam penelitiannya Analisis Karakteristik Arus dan Tegangan pada Inisiasi Ferresonansi Transformator Tegangan Rendah (Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknik Informatika UGM, Vol. 7, No. 2, Mei 2018) yang menyimpulkan bahwa ferresonansi menunjukkan sumber tegangan yang lebih besar menyebabkan respons ferresonansi terlihat lebih jelas. Hal ini ditandai oleh peningkatan pada distorsi bentuk gelombang, amplitude frekuensi harmonik ganjil terutama 150 Hz, dan THD. Dalam aplikasinya, Ferresonansi Transformator dapat juga kita temui dalam lampu LED seperti hasil yang ditemui dalam penelitian RayLee dkk yang berjudul *—Design and Implementation of Ferroresonant Transformer for LED Driver Systems” in IEE Journals and magazines*,vol.53,no. 6, 2017,

menyatakan bahwa penggunaan *Ferroresonant transformers (FRT)* dapat diimplementasikan pada lampu LED dengan frekuensi 60 Hz. Dari berbagai permasalahan dan sumber diatas, maka penulis tertarik melakukan analisis dengan judul —Desain Tiga Fase *Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM)* Dengan DSPIC30F4011 Guna Mengatasi Dip Tegangan Dan Interupsi.

b. Permasalahan

Berdasarkan hasil penelitian dan referensi diatas, maka yang menjadi permasalahan adalah bagaimana mendesain Tiga Fase *Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM)* Dengan DSPIC30F4011 pada rentang frekuensi 0-50 Hz Guna Mengatasi Dip Tegangan Dan Interupsi.

c. Batasan masalah

Dari latar belakang dan permasalahan diatas maka makalah ini membatasi permasalahan yang akan di analisis yaitu mendesain Tiga Fase *Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM)* Dengan DSPIC30F4011 pada rentang frekuensi 0-50 Hz Guna Mengatasi Dip Tegangan Dan Interupsi.

d. Tujuan dan manfaat

Tujuan dan manfaat dari penulisan makalah ini adalah:

1. Mendesain Tiga Fase *Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM)* Dengan DSPIC30F4011 pada rentang frekuensi 0-50 Hz Guna Mengatasi Dip Tegangan Dan Interupsi.
2. Mengetahui solusi terbaik dari permasalahan *Voltage Sags And Interruptions* dengan *Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM)* Dengan DSPIC30F4011 pada rentang frekuensi 0-50 Hz.

II. Metode

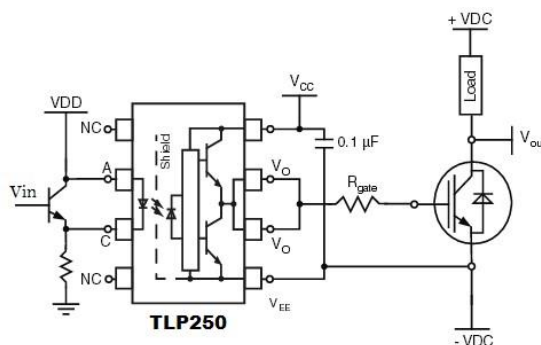
2.1 DsPIC 30f4011

DsPIC 30f4011 merupakan mikrokontroler 16 bit yang dikembangkan dari arsitektur Harvard manufaktur *Microchip Technology*. DsPIC 30f4011 memiliki DSP *Engine* yang mempercepatnya dalam melakukan komputasi sinyal digital. Selain itu, dsPIC 30F4011 dilengkapi dengan modul PWM dengan output 6 pin untuk keperluan aplikasi elektronika daya yang tidak banyak dimiliki oleh mikrokontroler lain. Dalam makalah ini dirancang *Inverter Full Bridge* tiga fasa dengan teknik pemucuan UPWM berbasis mikrokontroler dsPIC30f4011 dan pembangkitan sinyalnya dilakukan melalui senarai program. Selain itu dsPIC 30F4011 memiliki kemampuan *Digital Signal Processing* yang mampu memproses data secara cepat dan mempunyai lebar data 16 bit sehingga data yang dapat ditampung lebih banyak . Adapun tujuan utama dari pembuatan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat modul Inverter 3 fase UPWM dengan nilai frekuensi dan indeks modulasi yang dapat diatur
2. Mempelajari dan mengimplementasikan teknik pembangkitan gelombang modulasi UPWM untuk inverter tiga fase menggunakan dsPIC30f4011.
3. Mengamati pengaruh frekuensi dan indeks modulasi (ma) terhadap tegangan keluaran *Inverter Full Bridge* tiga fase UPWM.

2.2 MOSFET Driver

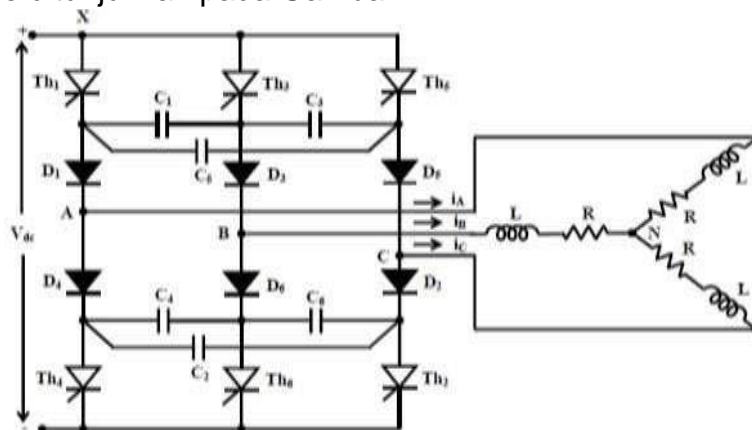
Rangkaian TLP 250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal UPWM level tegangan 5 volt yang dibangkitkan dsPIC30f4011 menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah (15 V), sehingga cukup untuk memicu MOSFET sebagai *driver*.



Gambar 1. Rangkaian MOSFET *Driver* TLP250

2.3 Inverter full Bridge Tiga Fase

Inverter tiga fase yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan topologi Inverter Full Bridge Tiga Fase, dimana nilai frekuensi dan fase tegangan outputnya dapat diatur secara independen, sedangkan arus yang ditarik dari sumber dipengaruhi oleh besar beban. Digunakan 6 buah MOSFET tipe IRF460 dengan 2 MOSFET pada tiap leg atau fasenya. Rangkaian Inverter tiga fase ditunjukkan pada Gambar 2.

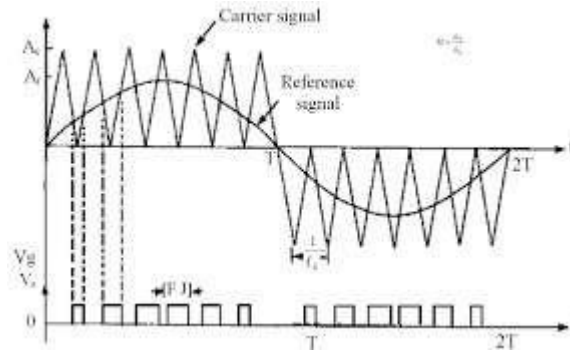


Gambar 2. Rangkaian Inverter tiga fase

2.4 Skema UPWM Tiga Fase

Gelombang pemicuan UPWM unipolar untuk pemicuan Inverter Full Bridge tiga fase diperoleh dengan membandingkan sinyal segitiga (sinyal

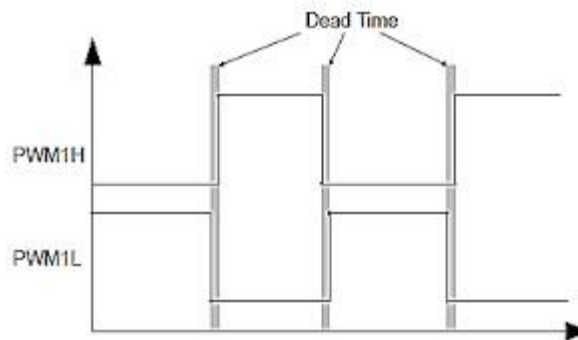
carrier) dengan tiga buah sinyal kotak yang masing – masing berbeda fase 120° sebagai sinyal referensi sebagaimana di ilustrasikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM)

2.5 Inisialisasi Modul PWM

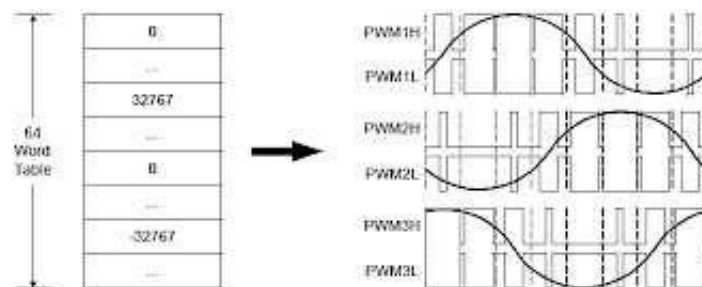
Modul PWM dikonfigurasi agar bekerja dalam *complementary mode*, sehingga *dead time* sebesar 1uS dapat dimasukkan diantara PWMxH dan PWMxL sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Dead time PWMxH dan PWMxL

2.6 Pembentukan sinyal UPWM

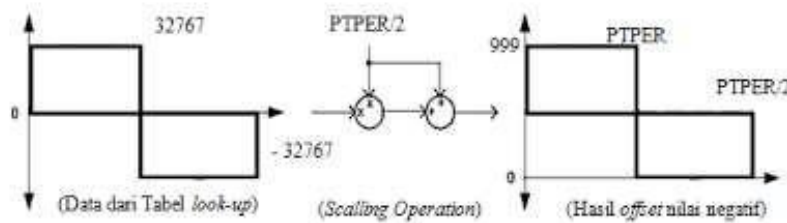
Sinyal UPWM dibentuk dengan metode *look-up table*, yang dimodelkan dengan tabel sinusoidal. Tabel memuat sinyal referensi sinusoidal tiga fase dengan 256 data *signed-integer*. Beda fase 120° dihasilkan dengan mengatur pencuplikan data tabel. Pointer dengan sudut fase 0° mencuplik *array* dari data ke nol. Pencuplikan yang dimulai dari data ke 85 menghasilkan *offset* 120° dan data ke 170 menghasilkan *offset* 240° sebagaimana diilustrasikan Gambar 5.



Gambar 5. Sinyal sinusoidal tiga fase dengan *look-up table*

Sinyal referensi yang memiliki nilai maksimum 32767 dan nilai minimum -32767 dinormalisasi terhadap sinyal carrier dengan nilai maksimum 999 dan nilai minimum 0. Proses normalisasi menghasilkan *offset* dari nilai negatif

sinyal referensi, sehingga dapat dibandingkan dengan sinyal carrier sebagaimana diilustrasikan Gambar 6.

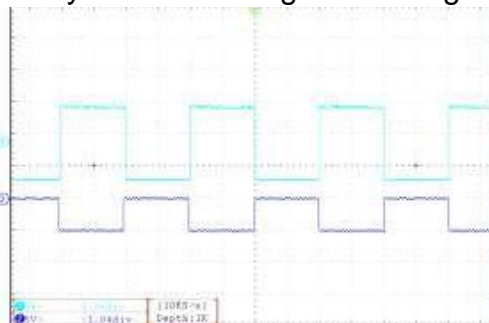


Gambar 6. Proses normalisasi sinyal referensi

III. Hasil dan Analisa

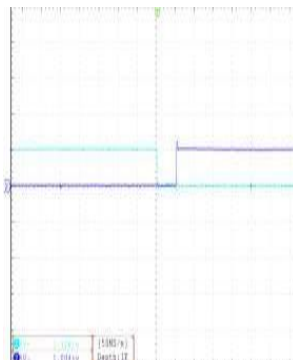
3.1 Sinyal Kontrol UPWM dsPIC30f4011

Gambar 7 menunjukkan output pin PWM PWM1L dan PWM1H yang bekerja secara komplementer. Pengamatan dilakukan pada $v/div = 5V$ dan $t/div = 2,0 ms$, diperoleh sinyal UPWM dengan level tegangan 5V.



Gambar 7. Output PWM1L dan PWM1H

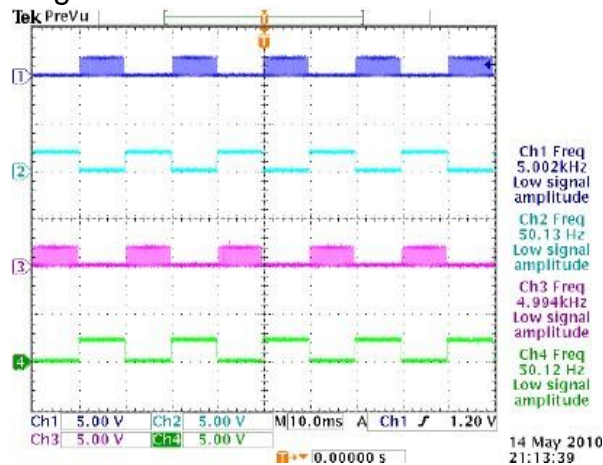
Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian *dead time* antara PWM1L dengan PWM1H. PWM1L adalah sinyal pemicuan *leg 1* sisi *low* dan PWM1H adalah sinyal pemicuan *leg 1* sisi *high*. Pengamatan dilakukan pada $v/div = 5V$ dan $t/div = 2,0 \mu S$, diperoleh *dead time* yang teramati sebesar 1 μS .



Gambar 8. *Dead time* PWM1L dan PWM1H

Gambar 9 menunjukkan sinyal UPWM dengan frekuensi referensi 50 Hz. Pengamatan dilakukan pada $v/div = 5V$ dan $t/div = 2,0 ms$ dengan membandingkan sinyal UPWM output dsPIC30f4011 dengan gelombang

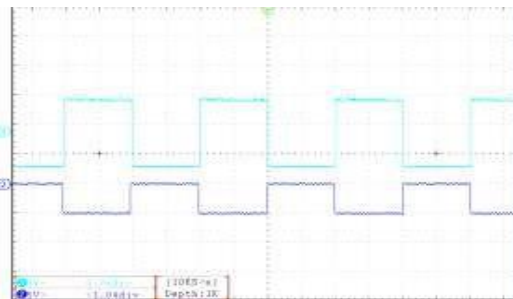
keluaran AFG. Diperoleh, sinyal UPWM dengan pola yang sudah sesuai dengan gelombang sinusoidal 50 Hz.



Gambar 9. PWM 50 Hz

3.2 MOSFET Driver

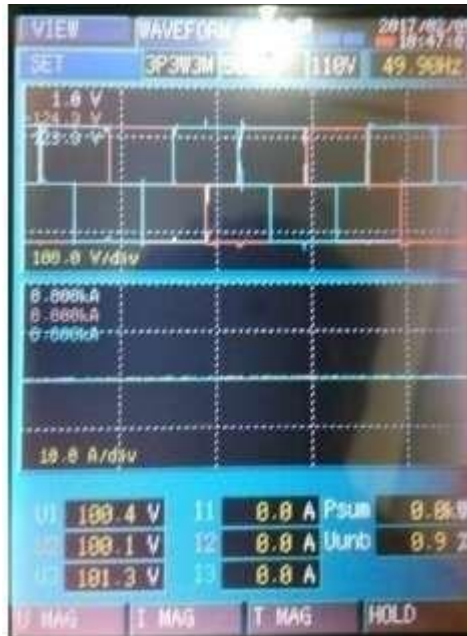
Gambar 10 menunjukkan sinyal output *optocoupler* TLP250 PWM1L dan PWM1H. Pengamatan dilakukan dengan nilai $v/div = 5V$ dan $t/div = 2,0$ ms, diperoleh sinyal UPWM dengan level tegangan 15 V. Level tegangan 15 V yang dihasilkan sudah cukup untuk memicu MOSFET IRFP460.



Gambar 10. Output *optocoupler* TLP250 PWM1L & PWM1H

3.3 Inverter Tiga Fase

Pengujian output *Inverter* tiga fase UPWM bertujuan untuk mengetahui bentuk gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan pada terminal output inverter tiga fase. Output VLL *Inverter* tiga fase ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Output VLL *Inverter* tiga fase

Berdasarkan Gambar 11, diperoleh bahwa bentuk gelombang yang teramati sudah menunjukkan karakteristik UPWM *unipolar* dan beda fase 120° .

IV. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa *Inverter Full Bridge* tiga fase UPWM telah berhasil direalisasikan dan dapat menghasilkan tegangan keluaran AC tiga fase terkontrol, dengan frekuensi dan magnitudo yang dapat diatur. DsPIC30f4011 dapat digunakan dengan baik untuk menghasilkan gelombang pemicuan UPWM *unipolar* pada pensaklaran MOSFET *Inverter* tiga fase UPWM. Diperoleh hasil pengujian, dimana VLL dapat bervariasi secara linear terhadap m_a pada rentang nilai $0 \leq m_a \leq 1$. Variasi frekuensi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai VLL. Nilai rasio ketidak seimbangan tegangan dan arus LVUR dan IUR. Pada kondisi beban resistif LVUR terbesar adalah 1,89% ($f=50\text{Hz}$, $m_a=1$). Pada kondisi beban resistif+induktif LVUR terbesar adalah 0,91% ($f=50\text{Hz}$, $m_a=0,5$). Untuk pengembangan system dan *hardware* lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran bahwa penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan topologi inverter tiga fase lainnya seperti *Z-source inverter* serta inverter satu fase seperti *full-bridge*, *half-bridge* dan *push-pull* sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, dapat digunakan kontrol *close-loop* dengan *feedback* ke mikrokontroler untuk pengaturan indeks modulasi secara otomatis sehingga diperoleh nilai output tegangan yang dikehendaki. DsPIC30f4011 juga dapat digunakan sel surya atau konverter DC/DC sebagai pengganti sumber arus searah.

Daftar Pustaka

- [1] Alan Finch. A Cement Plant's Experience in Investigating Power Sags Leads to a Reduction in Kiln Outages by Utilizing Power Hardening Methods in IEE Journals and magazines, vol.52, no. 5, Sep-Okt 2016, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7471437>.
- [2] Arif, M dkk. Desain *Inverter Full Bridge Tiga Fase Uniform Pulse-Width Modulation (UPWM) Dengan Dspic30f4011* pada jurnal Transmisi edisi Oktober 2017.[Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiXne7Q77fAhXQdd4KHcd4BvsQFjAHegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fjournal.undip.ac.id%2Findex.php%2Ftransmisi%2Farticle%2Fdownload%2F16531%2F12066&usg=AOvVaw1QFs9S7QvuhQWMGP4ASv2>
- [3] I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, dkk. Analisis Karakteristik Arus dan Tegangan pada Inisiasi Ferroresonansi Transformator Tegangan Rendah. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknik Informatika UGM, Vol. 7, No. 2, Mei 2018.[Online]. Available: <http://ejnteti.jteti.ugm.ac.id/index.php/JNTETI/article/view/429>
- [4] J. F. Piñeros, J. A. Vélez, D. Rodríguez. 2015. Ferroresonance in a 115 kV Network Due to a Single Line Fault. [Online]. Available: http://www.ipstconf.org/papers/Proc_IPST2015/15IPST148.pdf
- [5] Juan .C ,at all —Probabilistic Estimation of Distribution Network Performance With Respect to Voltage Sags and Interruptions Considering Network Protection Setting—Part I: The Methodologyll in IEE Journals and magazines, vol.33, no. 1, Februari 2018, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7762946>
- [6] Rahmi Citra Pertiwi, dkk. Analisis Ferroresonance pada Transformator Tiga Fasa 150 kV Akibat Ketidaksimetrian Histerisis pada Inti Besi. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-1. [Online]. Available: <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-22986-2208100007-Paper.pdf>
- [7] Ray-Lee Lin, at all —Design and Implementation of Ferroresonant Transformer for LED Driver Systemsll in IEE Journals and magazines, vol.53, no. 6, 2017, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7984888>.
- [8] Zhijun Wang. Impact of Voltage Sags on Electric-Vehicle Charger and Critical Voltage Sag Determination in IEE Journals and magazines, vol.31, no.3, Juni 2016, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7279171>

Artikel:

- [1] Alex Baitch , Ferroresonance —its Occurrence and Control in Electricity Distribution Networksll Integral Energy.[Online]. Available: http://besaust.com.au/wp-content/uploads/EESA-Aug-2000-BaitchFerroresonance_paper.pdf
- [2] Constant Voltage Transformer (CVT). [Online]. Available: https://coefs.uncc.edu/mnoras/files/2013/03/Transformer-and-Inductor-DesignHandbook_Chapter_11.pdf

- [3] Constant voltage transformers. [Online]. Available:
<https://www.weenergies.com/powerquality/cvtransformer.pdf>
- [4] Transformator Dan Sistem Distribusi Daya. [Online]. Available:
<https://industri3601.wordpress.com/transformator-dan-sistem-distribusi-daya/>