

Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) Dengan *Vector Control*

Singgih Agustian¹, Era Purwanto², Ony Asrarul³

^{1,2,3}Politenik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus PENS, Jl. Raya ITS, Keputih Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

email: sagustian5@gmail.com¹, era@pens.ac.id², ony@pens.ac.id³

Abstrak – Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) bisa disebut juga dengan PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) merupakan motor *synchronous* AC 3 fasa. *Synchronous* berarti medan magnet yang dibangkitkan oleh stator dan medan magnet yang dibangkitkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Perbedaan motor BLDC dengan motor PMSM adalah pada BEMF nya, motor BLDC memiliki BMEF berbentuk trapezoid sedangkan motor PMSM memiliki BMEF bentuk sinusoidal. *Vector control*, juga sering disebut *Field Oriented Control* (FOC) adalah metode *Variable Frequency Control* (VFC) yang mana arus stator pada motor listrik AC 3 fasa diidentifikasi dengan dua komponen ortogonal yaitu flux magnet motor dan torsi yang divisualisasikan dengan *vector*. Kontrol P-I digunakan untuk menjaga komponen arus yang diukur pada nilai referensi. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dengan set point 1000 rpm, diperoleh nilai rise time 21,937 ms, overshoot 0,85 %, settling time 15,4 tanpa beban dan diperoleh nilai rise time 21,94 ms, overshoot 0,847 %, settling time 15,386 berbeban.

Kata Kunci – Motor BLDC, *Vector control*, Kontrol P-I.

Abstract - *Brushless Direct Current (BLDC) motor, also called PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor), is a 3-phase AC synchronous motor. Synchronous means the magnetic field generated by the stator and the magnetic field generated by the rotor to rotate at the same frequency. The difference between a BLDC motor and a PMSM motor is that in the BEMF, the BLDC motor has a trapezoidal shape BMEF while the PMSM motor has a sinusoidal shape BMEF. Vector control, also often called Field Oriented Control (FOC) is a Variable Frequency Control (VFC) method in which the stator current in an AC 3 electric motor is identified by two orthogonal components, namely the motor magnetic flux and torque visualized with a vector. The P-I control is used to keep the measured current component at the reference value. From the results of the tests that have been carried out, with a set point of 1000 rpm, the rise time value is 21.937 ms, the overshoot is 0.85%, the settling time is 15.4 without a load and the rise time value is 21.94 ms, the overshoot is 0.847 %, the settling time is 15.386. with load.*

Keywords – *BLDC motor, Vector control, The P-I control.*

I. PENDAHULUAN

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) bisa disebut juga dengan PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) merupakan motor *synchronous* AC 3 fasa. *Synchronous* berarti medan magnet yang dibangkitkan oleh stator dan medan magnet yang dibangkitkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Perbedaan motor BLDC dengan motor PMSM adalah pada BEMF-nya, motor BLDC memiliki BMEF berbentuk trapezoid sedangkan motor PMSM memiliki BMEF bentuk sinusoidal. Motor BLDC mempunyai performa yang baik, efisiensi tinggi, daya densitas tinggi, daya tahan lama dan biaya perawatan yang rendah, untuk

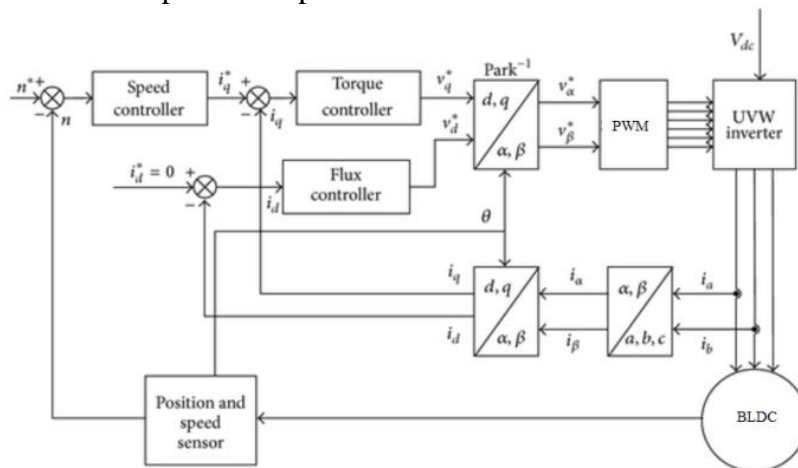
mengatur kecepatan motor BLDC dengan efisiensi yang tinggi serta pengoperasiannya *smooth* (halus) diperlukan kontrol dengan performa yang tinggi yaitu dengan *vector control*.

Vector control, juga sering disebut *Field Oriented Control* (FOC) yang dikenalkan Yang diperkenalkan oleh F. Blaschke (Direct FOC) dan Hasse (*Indirect FOC*) diawal tahun 1970, di mana *vector control* dapat memberikan performa dan efisiensi tinggi untuk berbagai aplikasi industri. *Vector control* bagus untuk menghasilkan performa dinamik tinggi, *ripple* torsi dan fluks yang rendah, metode ini juga memerlukan 2 koordianat transformasi yaitu *Clarke* dan *Park* untuk menghasilkan dua komponen ortogonal yaitu flux magnet motor dan torsi yang divisualisasikan dengan *vector*. Pada penelitian ini dirancang suatu sistem pengontrolan fluks dan torsi pada motor BLDC 3 fasa dengan memanfaatkan *Simulink* MATLAB. Metode *vector* sebagai kontrol dan kontrol P-I digunakan untuk menjaga komponen arus yang diukur pada nilai referensi.

II. METODE

A. Perancangan Sistem

Blok diagram perancangan sistem *vector control* sebagai kontrol kecepatan motor BLDC 3 fasa pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

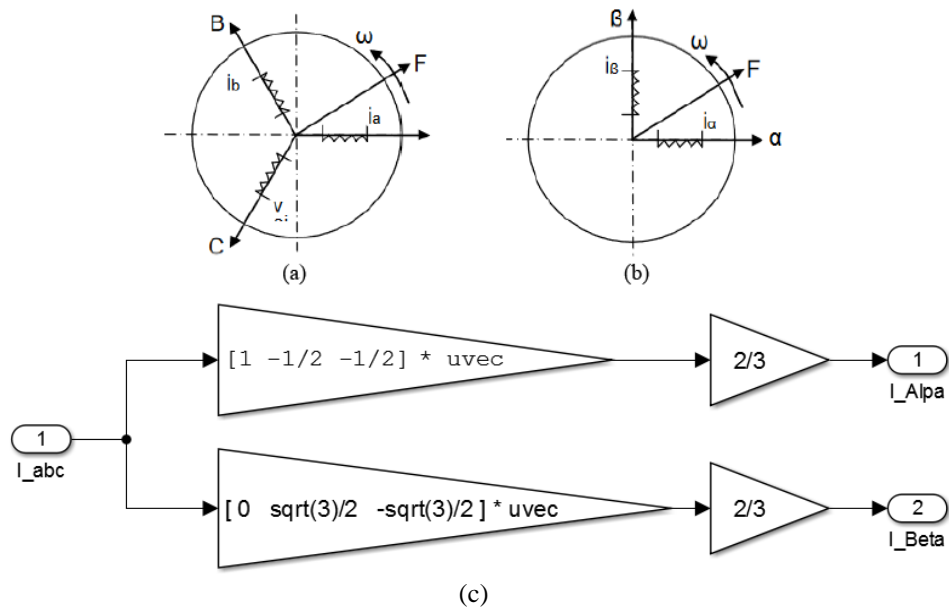


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Vector control merupakan metode pengaturan motor AC 3 fasa dengan cara mengatur d(flux) dan q (torque), untuk mendapatkan nilai d dan q dengan menggunakan beberapa transformasi yaitu transformasi clarke dan transformasi park. Nilai d dan q hasil transformasi ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai d* (*flux* referensi) dan q* (*torque* referensi) sehingga menghasilkan sinyal error. Kontrol P-I digunakan untuk memproses sinyal error yang hasilnya kemudian dikonversi menggunakan transformasi inverse park dan tranformasi *inverse clarke* untuk dijadikan sinyal a, b, c kembali untuk referensi sinyal PWM.

B. Transformasi Clarke

Transformasi *Clarke* ini pertama kali dikembangkan oleh E. Clarke. Transformasi *Clarke* merupakan transformasi yang mengkonversi koordinat tiga fasa (i_a, i_b, i_c) menjadi koordinat stasioner dua fasa (i_α, i_β). Variabel dua fasa koordinat pada Transformasi *Clarke* dilambangkan dengan α (*alpha*) dan β (*beta*).



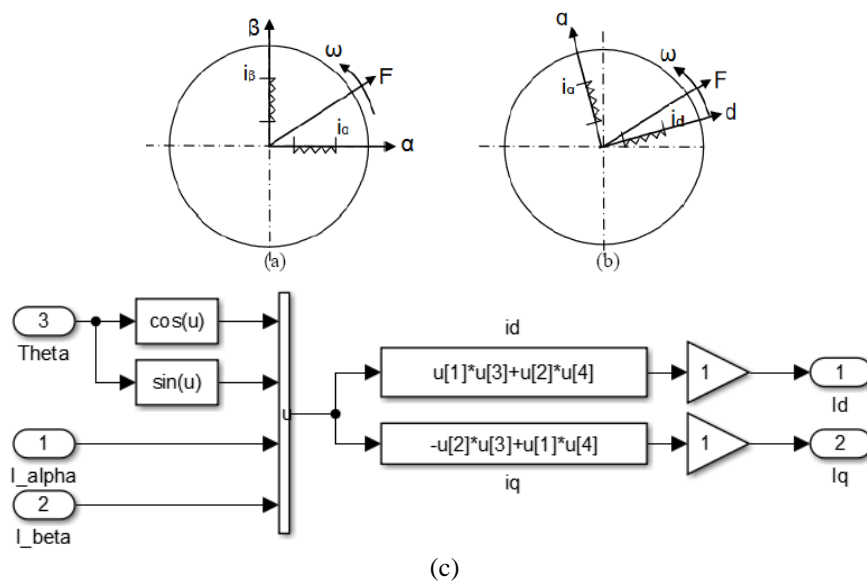
Gambar 2. Transformasi Clarke
 (a) Arus sumbu a,b,c (b) Arus sumbu $\alpha\beta$ (c) Blok Transformasi Clarke

Bisa dilihat pada Gambar 2. (c) untuk Blok Transformasi Clarke yang menkonversi sinyal a,b,c menjadi $\alpha\beta$, di mana konversi ini menggunakan persamaan transformasi clarke sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I\alpha \\ I\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix} \tag{1}$$

C. Transformasi Park

Transformasi Park yang dikenalkan oleh Robert H. Park merupakan metode transformasi dua fasa dalam analisis mesin sinkron. Transformasi Park digunakan untuk mengubah koordinat dua fasa stasioner α (alpha) dan β (beta) ke dalam koordinat *synchronously rotating frame* (dq) seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Transfotmasi Park

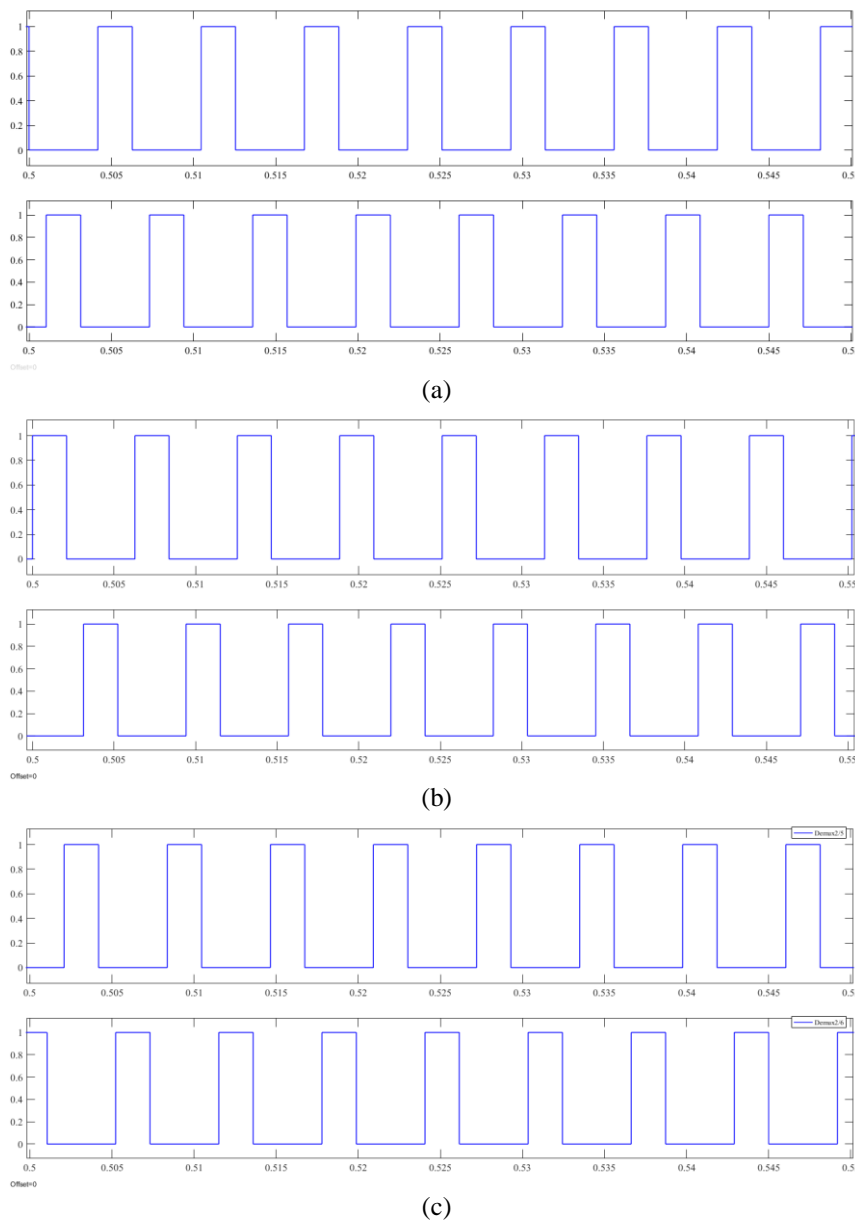
(a) Arus sumbu $\alpha\beta$ (b) Arus sumbu dq (c) Blok Transformasi *Park*

Gambar 3. (c) merupakan Blok Transformasi *Park* yang digunakan pada simulasi simulink untuk merubah sinyal $\alpha\beta$ menjadi sinyal dq, di mana persamaan yang digunakan untuk mengknversi $\alpha\beta$ menjadi dq adalah sebagai berikut :

$$\begin{matrix} I_d \\ I_q \end{matrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \tag{2}$$

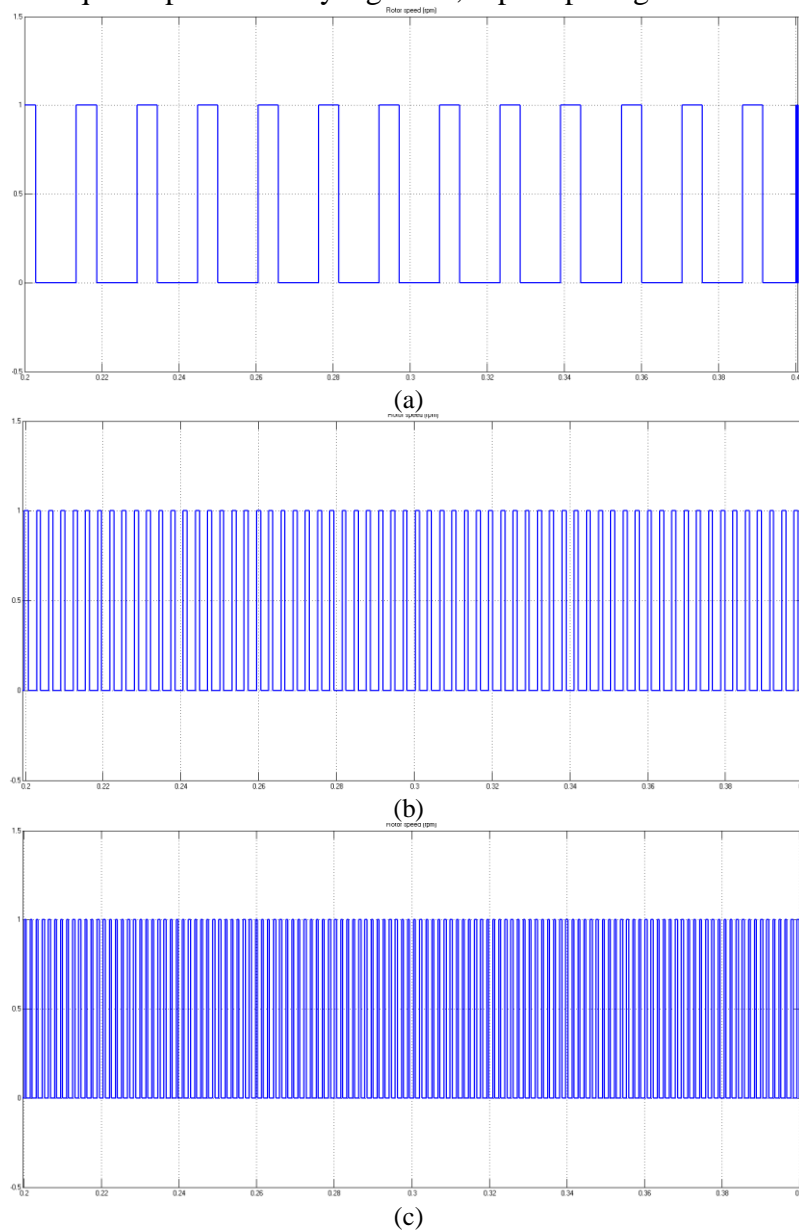
D. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM yang masuk pada Mosfet sisi *high* dan *low* tidak aktif bersamaan, Secara teori mosfet sisi *high* dan *low* tidak boleh menyala secara bersamaan, karena akan terjadi short circuit ketika sinyal PWM disulutkan ke rangkaian inverter, untuk itu diperlukan *dead time* (waktu mati). Untuk tiap fasa *high* dan fasa *low* memiliki perbedaan sudut penyulutan sebesar 120° . Dan untuk masing-masing antara *high* dan *low* memiliki nilai *dead time* sebesar 60° . Untuk sinyal PWM yang dihasilkan disimulasi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Sinyal PWM untuk Mosfet (a) Sinyal PWM untuk lengan A (b) Sinyal PWM untuk lengan B (c) Sinyal PWM untuk lengan C

Sinyal PWM yang dihasilkan pada simulasi ketika kecepatan motor ubah, memiliki Ton dan Toff sama besar/lebarnya, yang berubah adalah jumlah sinyal PWM yang dihasilkan karena perubahan frekuensi pada waktu yang sama, seperti pada gambar berikut:

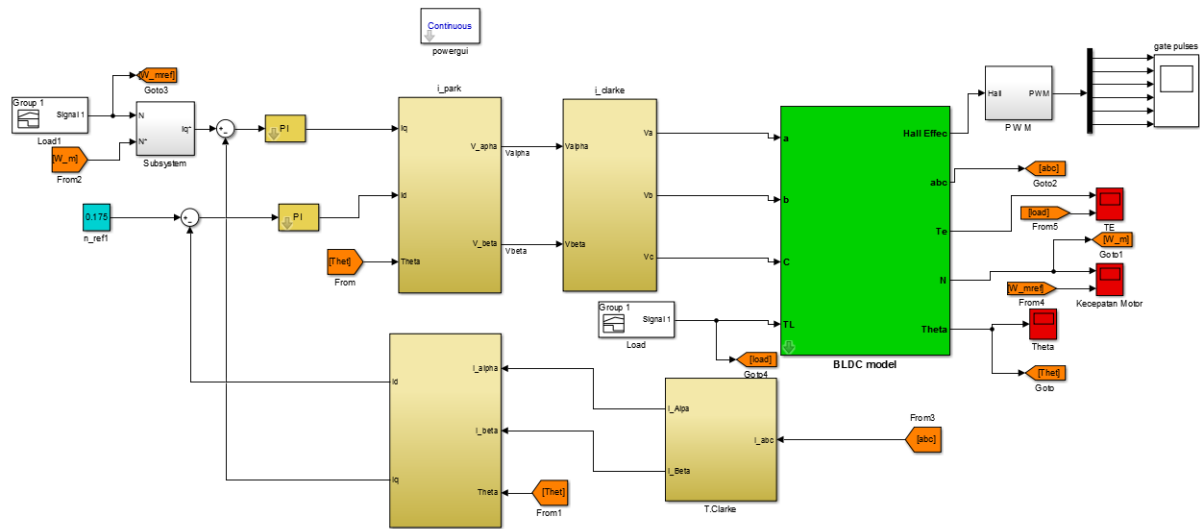


Gambar 5. Sinyal PWM pada kecepatan tertentu

Pada Gambar 5 (a) bisa dilihat bahwa pada gambar tersebut merupakan keluaran sinyal PWM saat kecepatan diatur 100 RPM, dengan waktu sampiling 0.2s sampai engan 0.4s. Pada Gambar 5 (b) bisa dilihat bahwa pada gambar tersebut merupakan keluaran sinyal PWM saat kecepatan diatur 500 RPM, dengan waktu sampiling 0.2s sampai engan 0.4s. Pada Gambar 5 (c) bisa dilihat bahwa pada gambar tersebut merupakan keluaran sinyal PWM saat kecepatan diatur 900 RPM, dengan waktu sampiling 0.2s sampai dengan 0.4s.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

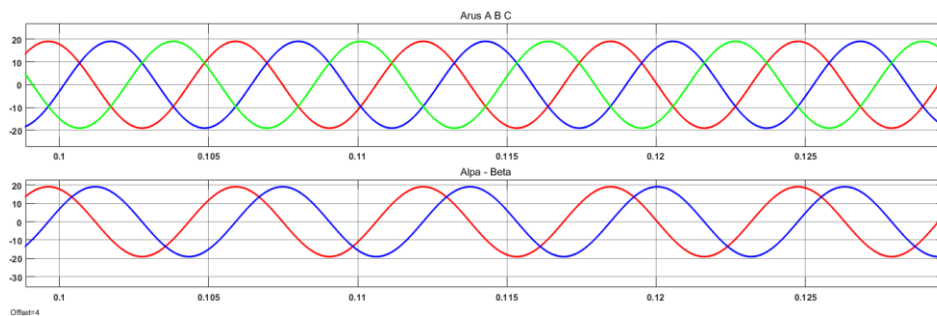
Pada simulasi yang telah dilakukan menggunakan simulink MATLAB mengenai pengaturan kecepatan motor BLDC 3 fasa dengan metode *vector control* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Schematic Simulasi

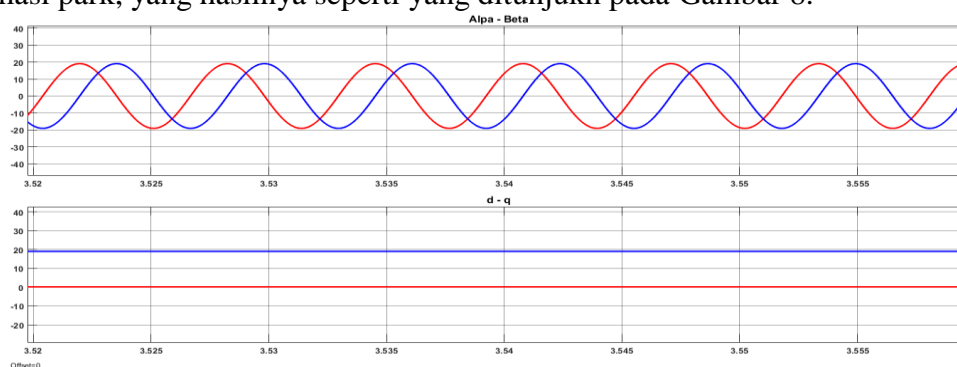
Gambar 6 merupakan gambar schematic pengaturan kecepatan motor BLDC 3 fasa menggunakan *vector control*, di mana ada beberapa tahapan yang harus dilakukan agar kecepatan motor bisa diatur. Pada simulasi ini kecepatan diatur menggunakan I_d (*flux*) dan I_q (*Torque*). Akan tetapi, dikarenakan motor BLCD termasuk motor dengan rotor permanen magnet, jadi hanya I_q (*Torque*) saja yang diatur, sedangkan I_d (*flux*) dianggap konstan.

Untuk mendapatkan nilai I_d dan I_q , pada simulasi ini menggunakan transformasi *clarke*, yang mana hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 7.



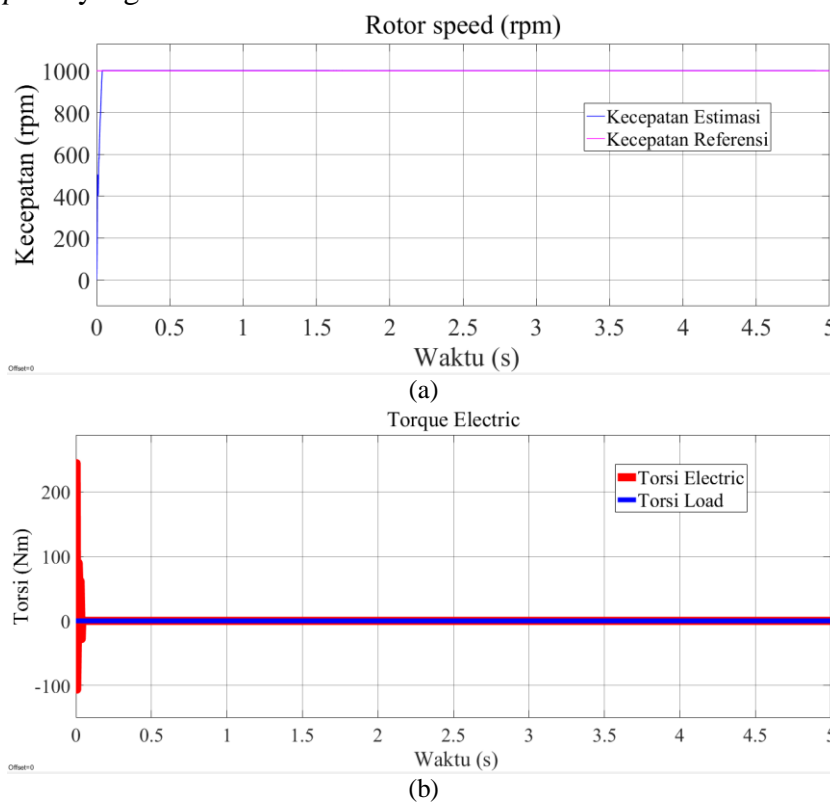
Gambar 7. Transformasi Arus abc to $\alpha\beta$

Dengan transformasi *clarke* ini arus 3 fasa (I_a, I_b, I_c) dikonversi menjadi arus 2 fasa (I_α dan I_β). Setelah nilai I_α dan I_β diketahui, lalu diubah menjadi I_d dan I_q menggunakan transformasi *park*, yang hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Sinyal dq

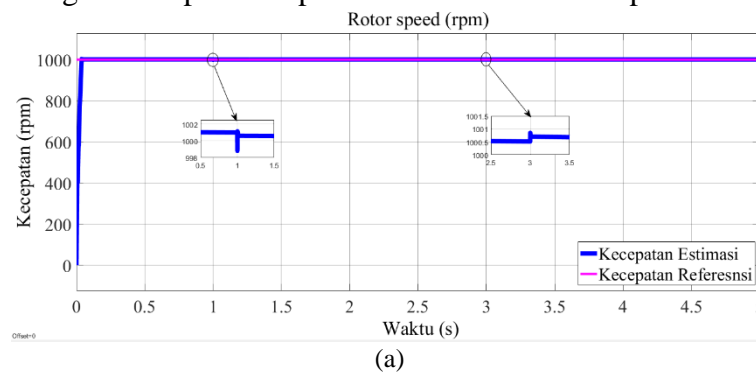
Untuk pengujian kecepatan motor dilakukan dengan dua kondisi yaitu sistem dijalankan tanpa beban dan berbeban, serta digunakan kontrol PI agar respon kecepatan motor sama atau mendekati *set point* yang diberikan.

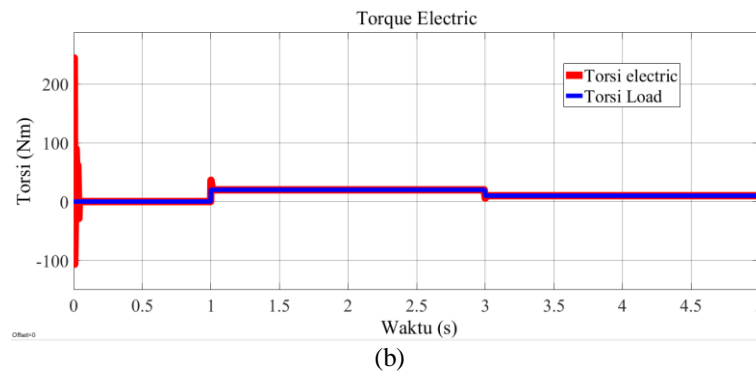


Gambar 9. Pengujian sistem tanpa beban

Pengujian kondisi tanpa beban pada Gambar 9 (a) dan (b), dilakukan dengan memberikan *set point* kecepatan referensi 1000 rpm. Dan bisa dilihat untuk kecepatan yang terukur pada Gambar 9 (a) yang mana menunjukkan pada nilai 1000 rpm dan torsi *electric* pada Gambar 9 (b) akan stabil pada waktu 0,21 detik.

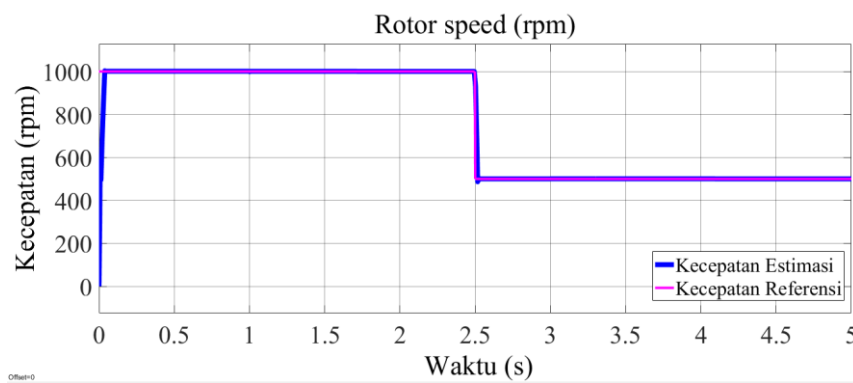
Pengujian selanjutnya yaitu pengujian sistem dengan diberikan beban (torsi *load*) sebesar 20 Nm pada *step time* 1s dan 10 Nm pada *step time* 3s dengan *set point* kecepatan referensi 1000 rpm. Maka diperoleh grafik respon kecepatan dan torsi *electric* dapat dilihat pada Gambar 10.



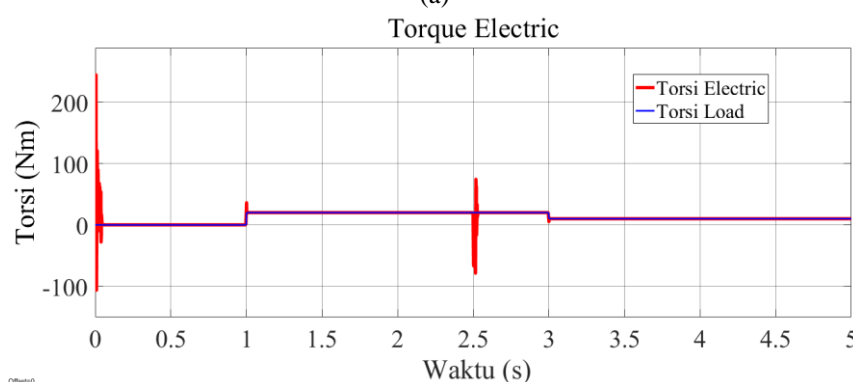


(b) Gambar 10. Pengujian sistem berbeban

Pada Gambar 10 (a) merupakan grafik respon kecepatan ketika diberikan beban, yang mana kecepatan akan mengalami penurunan saat diberikan torsi load sebesar 20 Nm pada *step time* 1s. Dan pada *step time* 3s, torsi load diturunkan menjadi 10 Nm dengan itu kecepatan mengalami kenaikan, namun kondisi itu akan distabilkan oleh kontrol PI pada *set point* yaitu 1000 rpm. Selanjutnya, pada Gambar 10 (b) merupakan respon torsi *electric* yang mengalami kenaikan pada waktu 1s serta penurunan pada waktu 3s dan mencapai *steady* setelah 0,03 detik.



(a)



(b)

Gambar 11. Pengujian sistem berbeban serta kecepatan diturunkan

Gambar 11 (a) dan (b) merupakan grafik respon kecepatan dan torsi *electric* pada sistem yang diberi beban (torsi *load*) dengan variasi *set point* kecepatan referensi. Pada Gambar 11 (a) Kecepatan referensi yang diberikan sebesar 1000 rpm, kemudian setelah 2,5s, kecepatan diturunkan menjadi 500 rpm, respon kecepatan mengalami penurunan dan kembali stabil setelah 0,22s. Selanjutnya, torsi *electric* pada Gambar 11 (b) mengalami *ripple* yang cukup besar pada saat respon mencapai 2,5 detik dan stabil kembalia setelah 0,26s.

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas, yaitu mengenai pengaturan kecepatan motor BLDC menggunakan teknologi *vector control* didapat beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. *Vector control* dapat mengontrol motor berkinerja tinggi yang diperlukan untuk beroperasi dengan mulus pada kecepatan penuh, menghasilkan torsi penuh pada kecepatan nol, dan memiliki kinerja dinamis tinggi termasuk percepatan dan perlambatan yang baik.
2. Pada pengujian sistem tanpa beban, dengan *set point* 1000 rpm, diperoleh nilai *rise time* 21,937 ms, *overshoot* 0,85 %, *settling time* 15,4.
3. Pada pengujian sistem berbeban, dengan *set point* 1000 rpm serta perubahan beban (torsi *load*) 20 Nm menjadi 10 Nm, diperoleh nilai *rise time* 21,94 ms, *overshoot* 0,847 %, *settling time* 15,386.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada seluruh pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini, semoga penelitian ini bermanfaat untuk perkembangan teknologi ke depannya.

REFERENSI

- [1] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics Circuit, Devices, and Applications Third Edition", 2004.
- [2] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk, Scott D. Sudhoff, "Analysis Of Electric Machinery And Drive Systems Second Edition", 2002
- [3] Austin Hughes, "Electric Motors and Driver Third Edition", 2006
- [4] R. Krishnan, "Electric Motor Drives : Modeling, Analysis, and Control – Chapter 9, Permanent-Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives," Prentice Hall.
- [5] Bin Wu and Mehdi Narimani, "*High-Power Converters and AC Drivers*". Chapter 14 : Control of Induction Motor Drives.
- [6] Brahmananda Das, "*Vector control of 3-Phase Induction Motor by Space Vector Modulation*," Department of Electrical Engineering, Koustuv Group of Institutions, Bhubaneswar, India, IJESC Vol 6 Issue No.7, 2016.
- [7] Yuanyuan Liu, Zhiguo Zhang "*PMSM Control System Research Based on Vector control*," International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy (ICISMME 2015)
- [8] Yu Liu, Longya Xu, Miao Wang dan Mengjia Jin, "*Stepping Vector control of BLDC Motor*", *Jurnal*, ITEAC ASIA PACIFIC, 2014.
- [9] Meghana N Gujjar and Pradeep Kumar "*Comparative analysis of Field oriented control of BLDC motor using SPWM and SVPWM techniques*" NMAMIT, Nitte, India May 2017.
- [10] Ajoy Kumar Chakraborty, Bhaskar Bhattachaya "*Determination of α , β and γ - Components of a Switching State without Clarke Transformation*", Agartala, India.