

SKRIPSI
SISTEM KENDALI MOTOR BLDC DENGAN HALL SENSORS
BERBASIS CPLD

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FAJRI SACHRUDDIN

D411 16 304



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

SISTEM KENDALI MOTOR BLDC DENGAN HALL SENSORS BERBASIS CPLD

Disusun dan diajukan oleh :

MUHAMMAD FAJRI SACHRUDDIN

D411 16 304

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 5 Januari 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.
NIP. 19750605 200212 1 004

Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE.
NIP. 19570906 198203 1 004

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Fajri Sachruddin
NIM : D41116304
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Sistem Kendali Motor BLDC dengan Hall Sensors Berbasis CPLD

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 5 Januari 2022

Yang Menyatakan



Muhammad Fajri Sachruddin

ABSTRAK

Pada penelitian ini menampilkan perancangan dan implementasi dari pengendali motor *brushless direct current* (BLDC) menggunakan *complex programmable logic device* (CPLD). Implementasi dari sistem ini menggunakan teknik PWM dengan mengubah *duty cycles* yang diberikan pada inverter tiga fasa. Posisi rotot ditentukan menggunakan sensor hall yang digunakan untuk sinkronisasi sinyal control PWM. Sistem control ditulis menggunakan Bahasa *Verilog Hardware Description Language* dan diverifikasi menggunakan simulasi pada ModelSim-Altera. Perancangan eksperimen dilakukan untuk menguji performa motor BLDC menggunakan control PWM. Algoritma control diimplementasikan menggunakan perangkat MAX II EPM240T100C5 pada motor BLDC 350W 36V. Jumlah *logic elements* yang digunakan sekitar 133 dari 240 *LEs* yang tersedia. PWM yang dibangkitkan memiliki frekuensi 20KHz dengan lebar *duty cycles* yang dapat diatur dan berkomutasi secara berurutan sesuai komutasi *six-step* dengan hasil uji kecepatan hingga 600 RPM dengan kondisi tanpa beban.

Kata kunci: CPLD; PWM; BLDC; Hall sensor; ADC.

ABSTRACT

This research presents the design and implementation of speed control for a brushless direct current (BLDC) motor using a complex programmable logic device (CPLD). Implementation of speed control is using a PWM technique by varying duty cycles applied to a three-phase inverter. Rotor position determines by hall sensors which are used as references to synchronize the PWM control signals. The control model is written using Verilog Hardware Description Language (HDL) and verified by simulation using ModelSim-Altera. An experimental setup is built to test the performance of the BLDC Motor under the PWM control. The control algorithm is implemented using Max II EPM240T100C5 devices on a 350W 36V rated BLDC motor. The number of the used logic elements (LEs) of the CPLD is about 133 of 240 LEs. PWM with controllable duty cycle generated in this system for having working frequency about 20KHz and commutate sequentially according to six-step commutation up to 600 RPM on no-load condition.

Keywords: CPLD; PWM; BLDC; Hall sensor; ADC.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Sistem Kendali Motor BLDC dengan Hall Sensors Berbasis CPLD” untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

Walaupun demikian, dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat dibutuhkan dari semua pihak yang mana dapat membuat skripsi ini lebih baik di waktu yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dari awal hingga selesai dapat terlaksana karena adanya bantuan, motivasi, serta bimbingan dari berbagai pihak. Maka, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Teristimewa kepada kedua orang tua penulis, Bapak Sachruddin Djafar dan Ibu Hartin Silawaty, yang menjadi sumber semangat dan motivasi yang dengan luar biasanya selalu mendukung baik dalam dukungan moral maupun materi dan tanpa henti selalu mendoakan keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Dr-Ing Faizal Arya Samman, S.T., M.T. selaku pembimbing 1 dan Bapak Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE. selaku Pembimbing 2 yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian serta memberikan bimbingan, saran, dukungan, dan motivasinya dalam penyusunan skripsi ini.

3. Bapak Muh. Anshar, S.T., M.Sc. (Research), Ph.D dan Ibu Dr. Hj. A. Ejah Umraeni Salam, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
5. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Elektro atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama ini.
6. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Teknik Elektro.
7. Mutiah Rayhana, selaku sahabat yang selalu memotivasi dan mendorong serta selalu meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Dan kepada keluarga besar saya, teman, rekan penelitian, dan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis ucapkan terima kasih atas tiap bantuan dan doa yang diberikan.

Makassar, 5 Januari 2022
Penulis,

Muhammad Fajri Sachruddin

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Deskripsi dan Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Motor BLDC	6
2.2 Inverter Tiga Fasa.....	10
2.3 Complex Programmable Logic Device	12
2.4 Komunikasi SPI.....	15
2.5 Pulse Width Modulation.....	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Gambaran Umum	17
3.2 Perancangan Sistem.....	18
3.2.1 Perancangan Kode Verilog.....	19
3.2.2 Perancangan Perangkat Keras.....	22
3.2.3 Perancangan Rangkaian Penyesuai Tegangan.....	24
3.3 Skenario Pengujian.....	27
3.3.1 Skenario Pengujian Sistem Kendali motor BLDC	27
3.3.2 Skenario Pengujian Karakteristik Kecepatan Motor BLDC Terhadap Beban.....	27

3.3.3	Skenario Rangkaian Rangkaian Penyesuai Tegangan	28
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Pengujian Sistem Kendali motor BLDC	29
4.1.1	Hasil Simulasi Verilog HDL.....	29
4.1.2	Hasil Implementasi	30
4.2	Hasil Pengujian Karakteristik kecepatan Motor BLDC terhadap Perubahan Beban.....	32
4.3	Rangkaian Penyesuai Tegangan.....	34
4.3.1	Hasil Pengujian Rangkaian Penyesuai Tegangan Secara Simulasi	37
BAB 5	PENUTUP.....	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gaya yang dihasilkan oleh kawat berarus dalam medan magnet	7
Gambar 2.2	Gelombang motor BLDC.	8
Gambar 2.3	Gambar kontruksi motor BLDC [7].	9
Gambar 2.4	Komutasi six-step motor BLDC.	10
Gambar 2.5	Topologi Umum Inverter Tiga Fasa	12
Gambar 2.6	Lini waktu perkembangan teknologi digital [17]	13
Gambar 2.7	Struktur dari complex programmable logic device (CPLD) [16]....	14
Gambar 2.8	Block diagram SPI.....	15
Gambar 2.9	Sinyal pulse width modulation	16
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian.....	18
Gambar 3.2	Diagram blok sistem kontrol motor BLDC	18
Gambar 3.3	RTL Viewer dari desain Verilog HDL	19
Gambar 3.4	Komunikasi SPI MCP3008	20
Gambar 3.5	Diagram alir kontrol BLDC.....	21
Gambar 3.6	Diagram blok perancangan perangkat keras.....	22
Gambar 3.7	Implementasi Perangkat Keras	23
Gambar 3.8	Karakteristik Rangkaian	25
Gambar 3.9	Rangkaian Penyesuai Tegangan	26
Gambar 3.10	Skenario pengujian dengan beban	28
Gambar 4.1	Hasil Simulasi pada Modelsim-Altera.....	29
Gambar 4.2	Perangkat Uji Coba.....	30
Gambar 4.3	Sinyal kendali motor BLDC pada duty cycle 50%.....	31
Gambar 4.4	Sinyal pada Fasa Motor BLDC.....	32
Gambar 4.5	Grafik hubungan tegangan potentiometer terhadap kecepatan motor BLDC	33
Gambar 4.6	Sinyal pada Fasa Motor BLDC.....	37
Gambar 4.7	Sinyal keluaran rangkaian penyesuai tegangan	38

Gambar 4.8 Grafik hubungan tegangan dua polaritas terhadap kecepatan motor BLDC 40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan motor listrik pada kendaraan listrik.....	7
Tabel 3.1 Clockwise Six-step Commutation.....	24
Tabel 4.1 Nilai komponen rangkaian penyesuai tegangan.....	36
Tabel 4.2 Perbandingan analisis rumus dan hasil simulasi	39

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman saat ini terjadi di segala bidang di dunia ini, termasuk pada perkembangan kendaraan listrik. Pada teknologi kendaraan bermotor saat ini mulai terjadi transformasi dari pembakaran energi fosil menuju kendaraan listrik. [1] Pada implementasi kendaraan listrik, terdapat berbagai hambatan yang ditemui dan salah satunya yaitu pada sistem kendali [2], [3] sehingga banyak penelitian serta publikasi terkait untuk menghadapi masalah ini.

Motor listrik merupakan salah satu bagian yang penting pada kendaraan listrik. Terdapat berbagai macam tipe motor listrik dan salah satu motor yang banyak digunakan pada kendaraan listrik yaitu motor brushless DC (BLDC). Motor BLDC memiliki kelebihan dibanding motor dengan sikat dan motor induksi, antara lain memiliki efisiensi yang tinggi, kemudahan perawatan, serta memiliki tingkat densitas torsi yang tinggi [3]–[7]. Berdasarkan kelebihan-kelebihan inilah motor BLDC banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan traksi seperti pada kendaraan listrik. Selain itu juga banyak digunakan dibidang bidang medis, penerbangan dan otomasi industri. Pada pengaplikasian untuk beberapa hal, motor DC memiliki kekurangan dibandingkan BLDC yaitu menimbulkan percikan serta masa pakai sikat [8]. Meskipun demikian pada motor BLDC dibutuhkannya komutator elektronik, tidak seperti motor DC yang menggunakan komutator mekanik.

Pada motor BLDC, sistem komutasinya perlu diatur secara elektronik karena pada stator motor perlu dinyalakan-dimatikan secara berurutan dan teratur. Komutasi elektronik ini berdasarkan posisi dari magnet permanen pada rotor [4]. Posisi rotor dapat diketahui menggunakan sensor maupun secara sensorless. Pada metode sensorless dapat digunakan secara universal akan tetapi terdapat kekurangan tingkat kompleksitas algoritma yang tinggi, serta permulaan dan komutasi kecepatan rendah yang menyulitkan [4], [9]. Untuk penggunaan sensor dapat menggunakan sensor hall-effect yang lebih mudah digunakan, akan tetapi menaikkan ongkos produksi serta memiliki resolusi yang rendah meski beberapa penelitian terkait melakukan publikasi untuk menghadapi masalah tersebut [10], [11]. Pada penelitian ini digunakan sensor hall-effect yang terdapat pada motor BLDC.

Sistem pengendalian motor BLDC dapat dilakukan dengan beberapa cara, biasanya menggunakan Digital Signal Processors (DSPs) pada sebuah mikrokontroler. Selain menggunakan mikrokontroler, FPGA serta CPLD juga dapat digunakan yang merupakan rangkaian terintegrasi yang diprogram menggunakan hardware description language (HDL). Implementasi pada CPLD memungkinkan dilakukannya simulasi terhadap rangkaian logika serta penggunaan HDL memungkinkan diimplementasikan pada *system-on-chip* untuk produksi massal. Sehingga pada penelitian ini digunakan CPLD sebagai otak untuk implementasi komutasi elektronik. Dari perancangan yang dilakukan dapat digunakan untuk melihat karakteristik motor BLDC untuk pengembangan sistem kendali yang lebih baik.

Dari permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian tugas akhir dengan judul **“SISTEM KENDALI MOTOR BLDC DENGAN HALL SENSORS BERBASIS CPLD”**.

1.2 Deskripsi dan Rumusan Masalah

Dalam pengendalian motor BLDC, komutasinya diatur secara elektronik berdasarkan posisi dari magnet permanen pada rotor. Untuk mengetahui posisi rotor maka dapat digunakan sensor hall-effect pada motor BLDC sehingga dapat melakukan komutasi pada motor BLDC.

Berdasarkan deskripsi tersebut peneliti merumuskan pokok permasalahan, yaitu perancangan sistem pengendalian motor BLDC dengan memanfaatkan sensor hall-effect berbasis CPLD.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini antara lain:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem kendali motor BLDC menggunakan CPLD dan hall sensor.
2. Memperoleh dan menganalisis karakteristik kecepatan motor BLDC terhadap kondisi beban.

1.4 Batasan Masalah

Dalam melaksanakan penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas dibatasi dengan ketentuan berikut:

1. Pengujian dan implementasi CPLD sebagai pembangkit sinyal PWM untuk menggerakkan motor BLDC dengan metode *six-step commutation*.
2. Implementasi diuji dengan menggunakan sumber tegangan 36 VDC yang terdapat pada laboratorium elektronika dan divais.
3. Pengambilan data karakteristik motor BLDC berfokus pada hubungan tegangan potentiometer dan kecepatan motor.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menampilkan data dan pembahasan hasil prototipe sistem yang telah dibuat.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian kedepan.

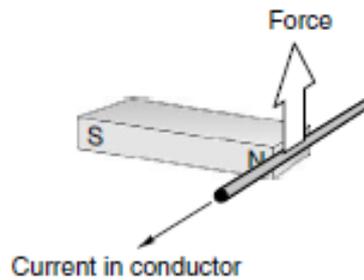
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor BLDC

Mesin listrik merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan sebaliknya. Alat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dikenal sebagai motor. Alat yang berfungsi sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator atau dinamo. Motor listrik sendiri dapat ditemukan pada berbagai aplikasi seperti pada peralatan rumah tangga contohnya kipas angin, mesin cuci, pompa air dan penyedot debu, hingga kepada dunia otomotif [2], [8].

Motor listrik bekerja dari gaya yang timbul dari konduktor berarus yang diletakkan pada suatu medan magnet seperti yang diilustrasikan gambar 2.1. Untuk membuat gaya yang besar, dibutuhkan medan magnet yang kuat dan berinteraksi dengan banyak konduktor berarus. Untuk itu secara umum prinsip kerja motor yaitu: Arus Listrik dalam Medan Magnet akan memberikan gaya, jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah loop maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan [2].



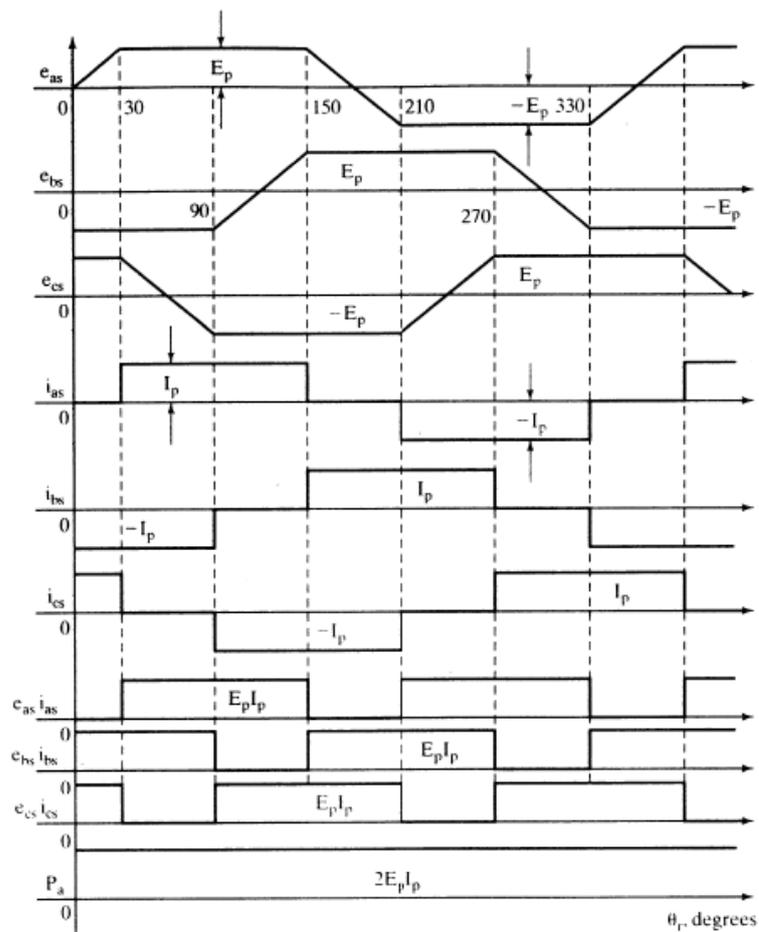
Gambar 2.1 Gaya yang dihasilkan oleh kawat berarus dalam medan magnet

Motor Listrik sendiri memiliki beragam konfigurasi dan tipe, pada pembahasan ini kita membagi menjadi dua jenis motor, yaitu Motor AC dan Motor DC. Motor AC pun terbagi menjadi dua jenis, yaitu Motor Sinkron dan Motor Induksi. Motor Induksi terbagi lagi menjadi dua macam yaitu Motor Induksi 1 Fasa dan Motor Induksi 3 Fasa. Sedangkan Motor DC terbagi menjadi dua jenis yaitu Separately Excited dan Self Excited. Motor DC Self Excited terbagi menjadi 3 buah macam yaitu SE Seri, Campuran, dan Shunt. Dengan beragamnya motor listrik ini, tabel 2.1 menyajikan perbandingan terhadap aplikasi di dunia otomotif [7].

Tabel 2.1 Perbandingan motor listrik pada kendaraan listrik

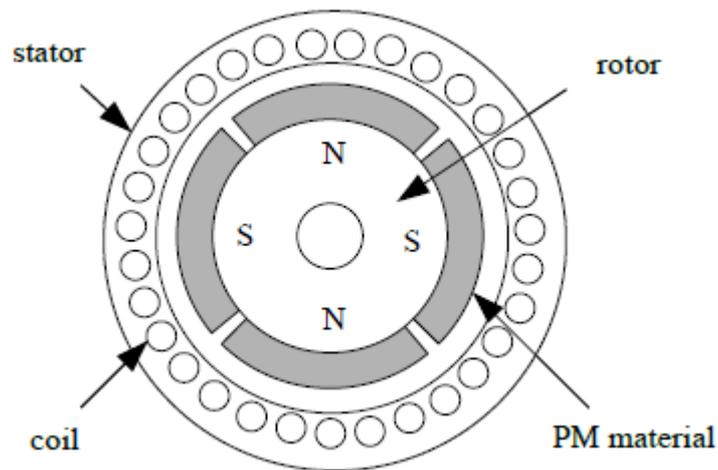
Motor type	DC motor	Induction motor	PM motor	Switched reluctance motor
Performance index				
Power density	Low	Intermediate	High	Very high
Peak efficiency (%)	<90	90-95	95-97	<90
Load efficiency (%)	80-87	90-92	85-97	78-86
Controllability	Simple	Complex	Hard for field-weakening	Complex
Reliability	Normal	Good	Excellent	Good
Heat dissipation	Bad	Bad	Good	Good
Size & weight	Big, Heavy	Normal, Normal	Small, Light	Small, Light
High-speed performance	Poor	Excellent	Good	Excellent
Construction	Slightly worse	Better	Slightly better	Excellent
Cost of motor (\$/kW)	10	8-10	10-15	6-10
Cost of controller	Low	High	High	Normal
Combination property	Slightly worse	Normal	Excellent	Better

Motor BLDC atau motor *brushless DC* merupakan motor yang secara definisi merupakan motor yang memiliki rotor berupa permanen magnet dan tipe motor *self-synchronous* yang dikendalikan menggunakan komutator elektronik. Beberapa mengenal dan mengategorikan motor ini sama dengan motor PMSM, namun juga ada yang menganggap motor ini berbeda dikarenakan beda gelombang yang dimiliki. BLDC memiliki gelombang *Back EMF* (BEMF) berbentuk trapezoid dan untuk motor PMSM memiliki gelombang sinusoidal [7]. Pada gambar 2.2 dapat dilihat bentuk gelombang dari motor BLDC [12].



Gambar 2.2 Gelombang motor BLDC.

Konstruksi motor BLDC terdiri dari dua komponen utama, yaitu rotor dan stator. Gambar 2.3 menunjukkan konstruksi dasar motor BLDC yang memiliki permanen magnet material pada rotornya dan *winding* pada stator. *Winding* pada motor BLDC dapat dihuungkan dengan koneksi Why ataupun Delta. Pemilihan koneksi yang umum digunakan berupa Why yang dihubungkan simetris pada titik netral dan memiliki performa dan biaya yang lebih baik [7].

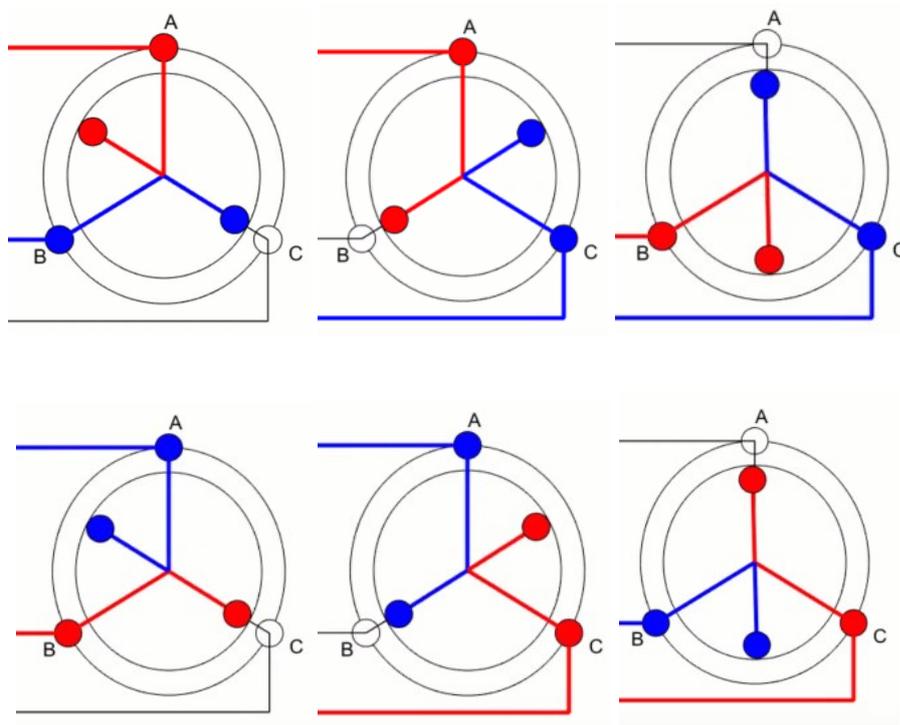


Gambar 2.3 Gambar konstruksi motor BLDC [7].

Untuk melakukan komutasi pada motor BLDC kumparan pada stator diberikan arus tiga fasa sehingga menimbulkan medan magnet pada inti besi. Medan magnet inilah yang akan saling menghasilkan gaya tolak menolak terhadap rotor yang menyebabkan motor berputar. Untuk melakukan komutasi yang terus menerus, polaritas kumparan perlu diubah setiap saat sesuai posisi rotor-stator [13].

Dalam komutasi pada motor BLDC, terdapat dua mode konduksi dari fasa motor BLDC yaitu mode dua fasa dan mode tiga fasa. Mode yang pertama ialah mode konduksi dua fasa, yang pada prinsipnya melakukan konduksi dua kumparan

dari motor pada satu waktu. Waktu konduksi ditentukan dari posisi rotor. Dalam komutasinya, motor BLDC berkomutasi 60° sudut elektrikal. Pada mode ini terdapat enam keadaan magnet dan dua kumparan yang bekerja pada setiap posisinya, ini juga dikenal sebagai six-step commutation. Waktu arus yang mengalir pada kumparan secara terus menerus ialah 120° sudut elektrikal [7].



Gambar 2.4 Komutasi six-step motor BLDC.

2.2 Inverter Tiga Fasa

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan atau mengubah tegangan searah (DC) ke tegangan bolak-balik (AC). Untuk penggunaan dalam penggerak motor AC dan uninterruptible ac power supply digunakan switch-mode inverter untuk menghasilkan sebuah keluaran tegangan bolak-balik berupa sinusoidal yang besar dan frekuensinya dapat

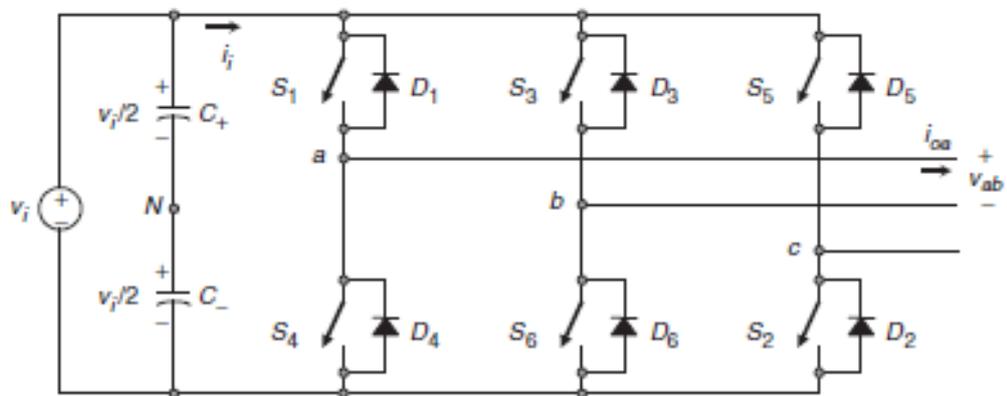
dikendalikan. Ada beberapa jenis inverter yang dibagi berdasarkan kriterianya, antara lain adalah:[8], [14]

- a. Berdasarkan Jumlah fasanya: yaitu inverter satu-fasa dan banyak-fasa, misalnya tiga-fasa yang selama ini merupakan jenis inverter yang digunakan untuk menginterkoneksi keluarannya ke jala-jala sistem tenaga listrik (grid).
- b. Berdasarkan sumber masukan DC-nya: yaitu Inverter sumber tegangan (VSI – Voltage Source Inverter), dan Inverter sumber arus (CSI – Current Source Inverter).
- c. Berdasarkan metode bentuk sinyal pengaturannya: yaitu gelombang persegi, pulse amplitudo modulation (PAM) dan pulse width modulation (PWM).
- d. Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya: yaitu gelombang persegi, persegi berundak dan sinusoidal

Pemakaian peralatan tersebut dipilih didasarkan pada jenis penerapannya. Inverter biasanya memakai sinyal kontrol modulasi lebar pulsa (PWM) untuk menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik. Sebuah Inverter dikategorikan sebagai jenis inverter sumber tegangan (Voltage fed Inverter) jika masukannya berupa sumber tegangan, dan dikategorikan sebagai inverter sumber arus (Current Fed Inverter) jika sumber dayanya berupa sumber arus[14].

Dalam pengaplikasian pada uninterruptible ac power supply dan penggerak motor ac, umumnya inverter tiga fasa digunakan untuk menyuplai beban tiga fasa.

Ini dimungkinkan untuk menyuplai beban tiga fasa menggunakan tiga inverter satu fasa secara terpisah dengan keluaran yang terpisah 120 derajat, akan tetapi hal ini membutuhkan masukan yang berbeda[14]. Untuk itu dalam inverter tiga fasa memiliki topologi yang secara umum sebagai berikut: [15]



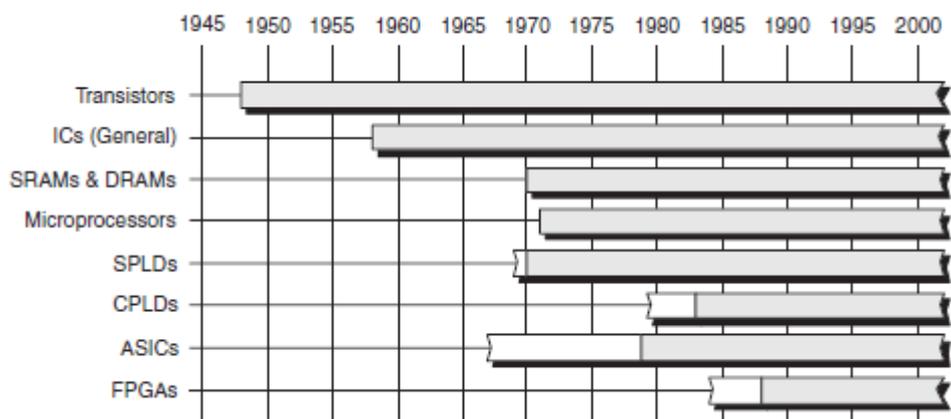
Gambar 2.5 Topologi Umum Inverter Tiga Fasa

Inverter tiga fasa ini tersusun dari dapat terdiri enam buah switch, dapat berupa power MOSFET, IGBT dan lainnya yang dirangkai secara berpasangan. Agar dapat menghasilkan tegangan tiga fasa, masing-masing MOSFET harus diberikan sinyal kontrol yang sesuai.

2.3 Complex Programmable Logic Device

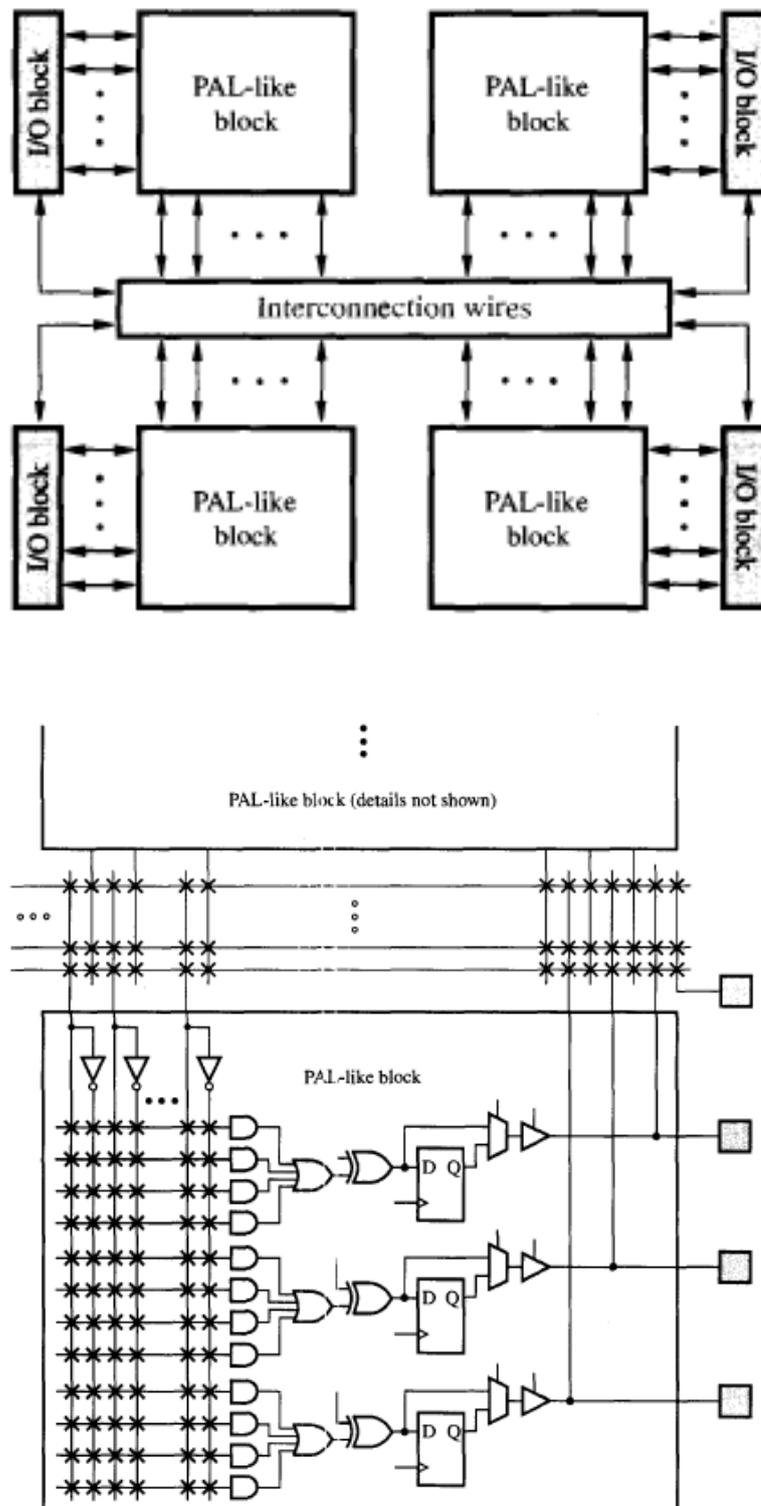
Dalam perkembangan dunia perangkat keras yang digunakan dalam membangun perangkat komputasi, di dalamnya terdapat rangkaian logika dan perangkat keras yang terlibat disebut sebagai perangkat keras digital. Hal tersebut diturunkan dari informasi yang direpresentasikan pada elektronik.

Pada dunia digital meliputi perangkat keras yang bermula dari transistor, dan transistor yang semakin berkembang hingga diciptakannya chip dari ukuran transistor yang dapat semakin kecil. Dalam perancangan produk hardware digital ini dapat dilakukan mulai dari desain dan membangun rangkaian logika dari dasar. Untuk ini rangkaian tersebut dapat dibagi menjadi standard chips, programmable logic devices, dan custom chips [16].



Gambar 2.6 Lini waktu perkembangan teknologi digital [17]

Programmable logic device sendiri dapat terdiri dari berbagai jenis seperti terlihat pada gambar 2.6, termasuk di dalamnya ialah CPLD. CPLD merupakan peningkatan dari PLA serta PAL yang pada perangkatnya membutuhkan lebih banyak. Pada CPLD strukturnya terdiri dari beberapa block circuit pada sebuah chip seperti struktur yang dapat dilihat pada gambar 2.7.

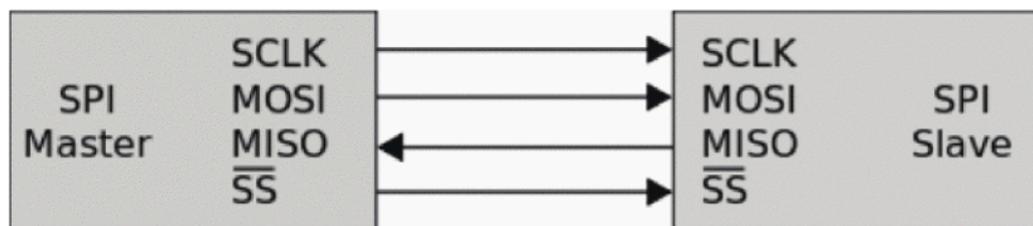


Gambar 2.7 Struktur dari complex programmable logic device (CPLD) [16]

Perancangan rangkaian logika yang melibatkan implementasi pada hardware dapat dilakukan menggunakan *Hardware Descriptive Language* dan salah satunya merupakan Verilog HDL. Dengan melakukan perancangan dengan Bahasa ini, kita dapat melakukan sintesis rangkaian logika tersebut hingga diimplementasikan pada CPLD [16].

2.4 Komunikasi SPI

Dalam komunikasi data antar perangkat terdapat berbagai jenis yang dapat menghubungkan kedua perangkat dan salah satunya adalah Serial Peripheral Interface. Komunikasi SPI merupakan jenis protocol yang tersinkron yang menghubungkan perangkat master dan slave [18].



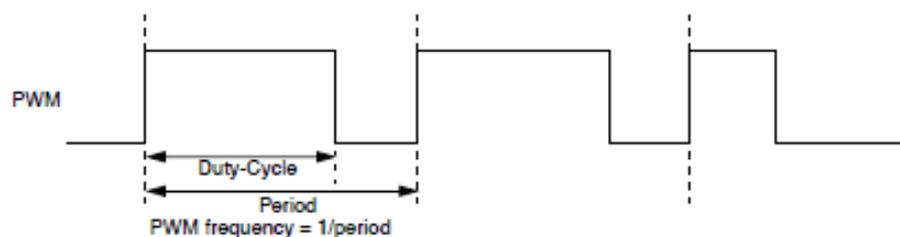
Gambar 2.8 Block diagram SPI

Gambar 2.8 menunjukkan blok diagram dari komunikasi SPI. SPI dapat melakukan komunikasi secara sinkron dengan perangkat master menyediakan clock. Perubahan clock pada SPI dapat terjadi tanpa mengganggu proses pengiriman data dan perubahan ini hanya mempengaruhi data rate. SPI merupakan protocol master-slave seperti pada gambar 2.8 [18].

2.5 Pulse Width Modulation

Metode-metode dalam pengendalian Motor memiliki banyak variasi, yaitu Direct Torque Control (DTC), Field Oriented Control (FOC), Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM), Space Vector Modulation based Direct Torque Control (SVM-DTC), dan PWM Generator. Metode yang paling umum untuk pengendalian kecepatan secara umum untuk motor adalah PWM. Metode ini dilakukan dengan mencocokkan sebuah sinyal frekuensi tinggi dengan duty cycle tertentu yang dikalikan jumlah sinyal switching dari inverter [19].

Metode kendali ini hanya menggunakan sinyal PWM yang dihasilkan melalui Microcontroller atau FPGA untuk mengendalikan Motor berupa sinyal pulsa yang disusun sedemikian rupa agar motor dapat dikendalikan. Pulse width modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Modulasi PWM ini dilakukan dengan cara mengubah perbandingan lebar pulsa positif terhadap lebar pulsa negative ataupun sebaliknya dalam frekuensi sinyal yang tetap. Artinya, total 1 periode (T) pulsa dalam PWM tetap.



Gambar 2.9 Sinyal pulse width modulation