

Abstrak

RANCANG BANGUN KENDALI DIGITAL MOTOR BLDC UNTUK MOBIL LISTRIK UNIVERSITAS JEMBER

Arbiantara H.¹, Setiawan A.², Widjonarko³
Universitas Jember

Abstract – Sebuah kegiatan penelitian yang mengimplementasikan desain kontrol BLDC motor berbasis rangkaian logika ke dalam piranti elektronik telah dilakukan untuk diaplikasikan pada mobil listrik yang dikembangkan Universitas Jember. Dalam kegiatan penelitian lanjutan ini dirancang rangkaian kontrol menggunakan IC PALs (*Programmable Array Logic*) dengan Metode *Six Step Commutation* menggunakan *device* aplikasi program WinCUPL. Sehingga nantinya didapat sinyal tegangan tiga fasa berbentuk trapezoid untuk memutar motor. Verifikasi sistem kendali menggunakan baterai 12 V, IC PALs sebagai kontrol logika, IC Op-amp sebagai pembangkit gelombang segitiga untuk pengaturan kecepatan motor BLDC 1 kW, rangkaian PWM (*duty cycle*) yang dirubah menyesuaikan kecepatan yang dikehendaki, Perubahan PWM (*duty cycle*) pada motor BLDC mempengaruhi kecepatan pada motor BLDC, semakin besar nilai PWM (*duty cycle*) putaran motor BLDC semakin cepat. Dari hasil pengujian, dapat diketahui saat nilai *duty cycle* PWM maksimum yaitu 80,4%, didapat kecepatan maksimum sebesar 116,2 rpm.

Keywords: *PALs, Six Step Commutation, duty cycle, Kontrol, Implementasi*

EXECUTIVE SUMMARY

1. PENDAHULUAN

Usaha pemerintah untuk membuat perguruan tinggi bersemangat dalam melakukan penelitian yang berhubungan dengan pengembangan mobil listrik sebagai salah satu solusi mengurangi sumber polusi mendapat respon yang baik di Universitas Jember. Beberapa penelitian yang berhubungan dengan hal ini telah dilakukan termasuk pengembangan prototipe piranti kontrolnya. Dengan dilaluinya tahapan penelitian ini berarti sudah ada langkah penelitian sebelumnya yang dilalui dalam pengembangan kendali digital BLDC ini, yaitu implementasi sistem kendali berbasis pada gerbang-gerbang logika yang merupakan komponen elektronika nyata.

Untuk selanjutnya, agar tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk merancang sistem pengaturan BLDC yang handal dengan biaya rendah yang berarti pula dapat diimplementasikan dengan tidak terkendala dengan keberadaan komponen. Salah satu permasalahan yang sudah teridentifikasi dalam pengaturan kecepatan adalah potensi error pada pemanfaatan gerbang logic yang banyak, yaitu masing-masing gerbang diwakili oleh sebuah komponen elektronika mandiri dengan karakteristik dan kondisi masing-masing. Secara teoritis hal ini sangat dimungkinkan terjadi karena masing-masing gerbang *logic* bisa saja memiliki ketidakseragaman respon terhadap nilai tegangan input yang diberikan serta untuk mengurangi probabilitas permasalahan ini dengan mengimplementasikan *logic* ini ke dalam piranti *logic* yang lebih kompak yaitu dalam satu IC.

Dengan menggunakan *programmable array logic* PALs sebagai pengganti gerbang-gerbang *logic* ini, di samping peningkatan keandalan yang didapatkan dengan mengeliminir kemungkinan *error logic* yang diakibatkan oleh ketidakseragaman karakteristik komponen *logic*, rangkaian kontrol akan menjadi lebih sederhana dan mengurangi kemungkinan kegagalan operasi karena pengaruh luar. Dimensi yang lebih kecil dengan rangkaian yang lebih kompak akan lebih memudahkan aplikasinya sebagai kendali kendaraan listrik yang memiliki ruang yang terbatas.

2. METODE PENELITIAN

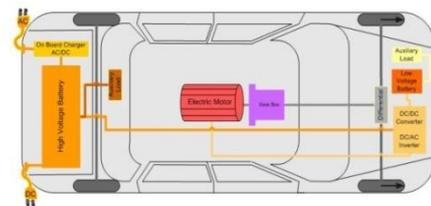
2.1 Pustaka

Secara umum kegiatan penelitian ini adalah mengimplementasikan sebuah desain rangkaian

kontrol yang sedianya diimplementasikan dalam sebuah program komputer dan telah diujicobakan ke dalam rangkaian PWM dan IC PALs yang terprogram yang akan menghasilkan piranti kontrol dan pengemudian sebuah motor BLDC dengan spesifikasi tertentu.

2.1.1 Mobil Listrik

Mobil listrik didefinisikan sebagai mobil yang menggunakan sumber penggerak dari motor listrik bukan dari mesin bensin (Oto trend. Com, 2012). Motor listrik mendapat energi dari baterai melalui sebuah kontroller, yang mengatur jumlah tenaga yang dihasilkan berdasarkan penggunaan pedal gas dari pengemudi mobil. Gambar 2.1 memperlihatkan sebuah model mobil listrik. Tampak pada Gambar bahwa mobil listrik terdiri dari motor listrik, *gear box*, *inverter*, *konverter*, baterai dan sistem pengisian baterai.



Gambar 2.1 Struktur mobil listrik.

Baterai yang digunakan adalah jenis baterai yang bisa diisi ulang. Pengisian ulang dilakukan dengan energi listrik yang bersumber dari listrik PLN atau generator melalui *Charger*, yang berfungsi untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC) sesuai dengan kebutuhan pengisian (*Trekko electric vehicle. Com, 2009*). Pada umumnya Baterai terdiri dari beberapa unit yang dipasang secara seri. Sumber tegangan berasal dari baterai accu kering 12 V yang diseri sebanyak 4 buah sehingga total 48 V dengan masing-masing berkapasitas 35 Ah. dengan kapasitas yang bervariasi. Sedangkan motor listrik yang digunakan dapat berupa motor BLDC. *Inverter* pada mobil listrik memiliki peranan yang cukup besar, karena peralatan inilah yang akan membuat komutasi elektronik pada motor BLDC sehingga motor bisa berputar.

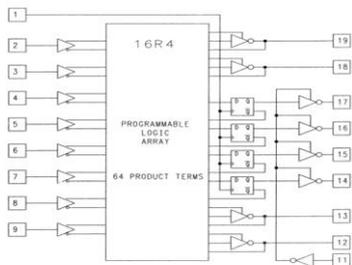
2.1.2 Programmable Array Logic

Programmable array logic (PALs) atau *programmable logic array* (PLAs) keduanya dimaksudkan untuk menyebutkan sejenis piranti

logika yang bisa diprogram dan merupakan komponen semikonduktor untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi logika dalam rangkaian digital.

Piranti PAL terdiri dari sebuah PROM (*programmable read-only memory*) dan output logic yang digunakan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi logika yang diinginkan. Pengisian program ke PROM hanya bisa dilakukan satu kali (*One Time Programmable*).

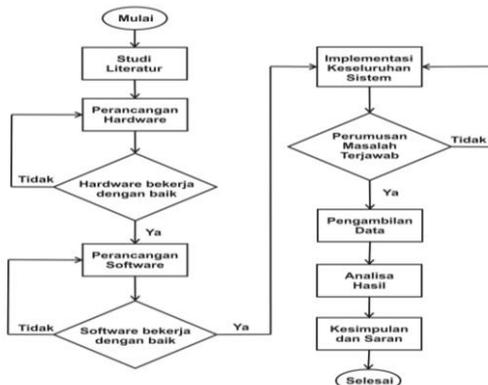
PALs dengan 20 pin memiliki 10 input dan 8 output. Output-output ini adalah aktif rendah dan dapat berupa output yang diregister maupun kombinasional. Kelompok PALs yang memiliki struktur output bervariasi disebut *Output Logic Macrocells* (OLMCs). Sebelum diperkenalkannya seri "V" yang berarti *variable*, semua PALs diproduksi dengan type OLMCs dan dibuat menjadi *fix output* pada proses manufacturing.



Gambar 2.2 Blok Diagram *Programmable Array Logic* 16R4 Sumber wikipedia.org/Programmable Array Logic

Meskipun beberapa pengguna suka memprogram perangkat PAL dengan mengedit secara manual file yang berisi data biner, sebagian memilih untuk merancang logika mereka menggunakan bahasa deskripsi perangkat keras (HDL) seperti Data I/O ABEL, *Devices Logical* 'CUPL, atau PALASM.

2.2 Diagram Alir Kegiatan

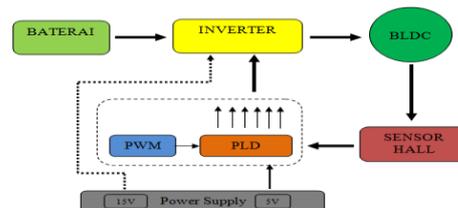


Gambar 2.3 Alur Kegiatan Penelitian

Gambar 2.3 menunjukkan alur kegiatan penelitian ini. Penelitian ini telah diawali dengan penelitian sebelumnya dan menghasilkan beberapa data dan informasi yang akan diimplementasikan lebih jauh dalam penelitian ini.

2.3 Blok Diagram Sistem

Kendali motor BLDC Pada penelitian ini, konfigurasi dari kontrol kecepatan motor BLDC menggunakan metode *six step commutation* menggunakan sensor hall pada gambar 2.4.

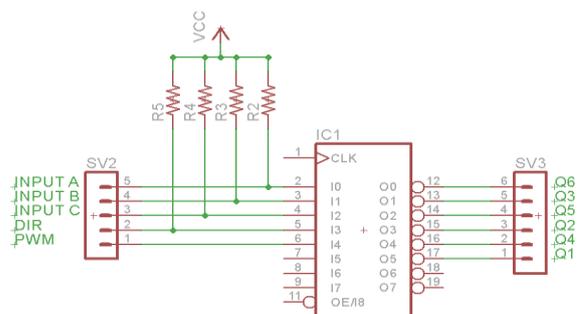


Gambar 2.4 Diagram blok implementasi kontrol motor BLDC

Pada saat kita mengatur besar kecilnya PWM menggunakan potensio, maka membangkitkan gelombang listrik dengan mengubah-ubah lebar pulsa aktif yaitu mengatur besarnya *duty cycle* menggunakan metode PWM. Untuk mendapatkan posisi fluks magnet dan kecepatan yang konstan maka perlu adanya feedback yakni dengan menggunakan *sensor hall*. Kode dari *sensor hall* akan diproses pada IC PLD.

2.3.1 Rangkaian terintegrasi (IC)

Rangkaian terintegrasi (IC) yang digunakan untuk mengimplementasikan *array logic* yang telah dibuat adalah IC ATF16v8 diaman memiliki 8 pin input dan 8 pin output yang dianggap sudah memadai untuk maksud ini. Gambar skematis IC ini yang ditunjukkan dalam function block diagram untuk menentukan penggunaan pin input dan output seperti terlihat dalam Gambar 2.5. Dari gambar ini terlihat kemudahan memindahkan skema rencana blok diagram array seperti terlihat dalam Gambar.

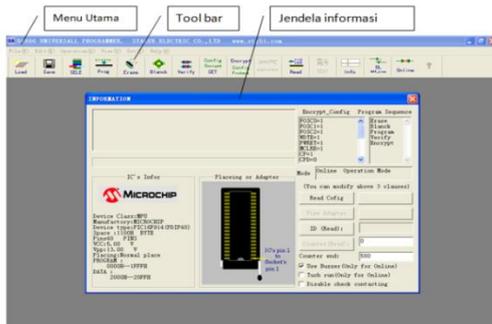


Gambar 2.5 function blok diagram IC ATF16v8

2.3.2 Pemrograman Rangkaian Terintegrasi (IC)

Perancangan rangkaian logika yang sudah didapatkan dari penelitian sebelumnya, kemudian dituliskan pada *software* CUPL yang kemudian nantinya akan dicocokkan dengan menggunakan simulasi terlebih dahulu. Apabila pada simulasi telah cocok dengan tabel kebenaran, maka dapat dilakukan proses *compile*. Bila proses *compile* berhasil maka akan menghasilkan file *jedec* (.jed) dan file *jedec* inilah yang nantinya diisi pada IC ATF16v8.

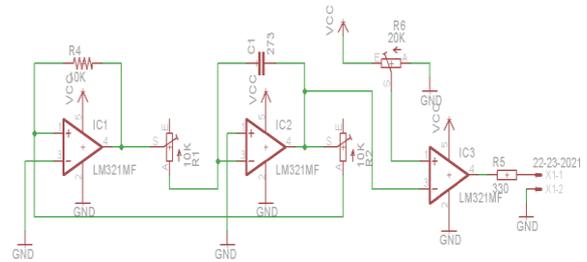
Setelah file program (.jed) telah didapatkan kemudian dilakukan implementasi *software* ke *hardware*, yaitu pada IC ATF16v8. Cara untuk mengimplementasikan hal tersebut yaitu dengan menggunakan *Universal Downloader*. *Universal Downloader* ini sangat banyak kegunaannya selain untuk pemrograman PLD, juga untuk memprogram EPROM, EEPROM, MPU dan lain-lain. Pada penelitian ini menggunakan GENIS G540 universal programmer.



Gambar 2.6 Tampilan awal Universal programmer G540

2.3.3 Rangkaian PWM

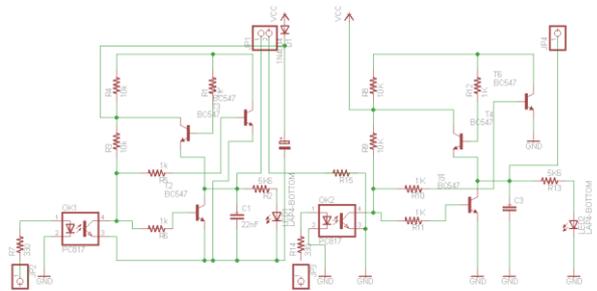
Rangkaian pembangkit sinyal PWM berfungsi sebagai pengatur kecepatan, rangkaian tersebut terdiri dari 3 buah op-amp dengan menggunakan IC LM324, dimana Kedua op-amp digunakan sebagai pembangkit sinyal segitiga yang kemudian dibandingkan/ dikomparasikan pada op-amp dengan tegangan referensi untuk menghasilkan sinyal PWM. Kecepatan pada motor nantinya berpengaruh dari nilai *duty cycle*. Untuk merubah nilai *duty cycle* hanya dengan merubah nilai tegangan referensi dengan menggunakan variable resistor atau biasa disebut dengan potensiometer, antara 0 sampai 5 volt, dimana pada saat tegangan referensi 0 volt maka *duty cycle* akan 0% dan jika tegangan referensi 5 volt maka *duty cycle* berubah menjadi 100%.



Gambar 2.7 Skematik rangkaian pembangkit sinyal PWM

2.3.4 Rangkaian driver mosfet

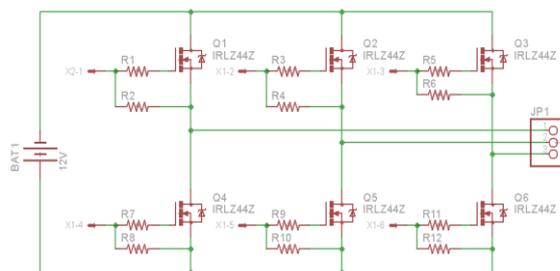
Fungsi utama rangkaian driver mosfet adalah sebagai pemisah antara rangkaian power dengan rangkaian kontrol atau isolator dari rangkaian tegangan rendah ke rangkaian tegangan tinggi karena terdapat *optocoupler*. Konfigurasi dari *optocoupler* dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Skematik rangkaian driver mosfet

2.3.5 Inverter Tiga Fasa

Inverter tiga fasa dirancang menggunakan enam buah saklar semikonduktor berupa MOSFET dengan tipe IRL640A, dimana masing-masing fasa menggunakan dua buah MOSFET yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Rangkaian Inverter 3 Fasa

Inverter tersebut akan memberikan tegangan ke kumparan motor sesuai dengan data yang di terima dari sistem pentrigernya. Karena outputnya berupa sinyal tiga fasa maka daya input ke motor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_{3\phi} = 3 \times V_L \times I_L \times \cos\phi \quad (13)$$

Dimana :

$P_{3\phi}$ = daya tiga fasa (watt)

VL = tegangan fasa (volt)

IL = arus fasa

$\cos\phi$ = faktor daya

2.3.6 Motor BLDC

Pada penelitian kali ini, spesifikasi motor BLDC yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Motor BLDC

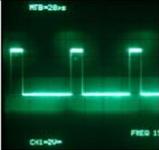
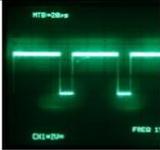
Merk Motor : Trekkco, Tegangan : 48 V, Daya: 500 watt, Putaran : 500 rpm

3. 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Rangkaian PWM

Rangkaian PWM terdiri dari pembangkit gelombang segitiga, pembagi tegangan DC dan sebuah komparator. Pembangkit segitiga diuji dengan mengamati bentuk gelombang menggunakan osiloskop dan dengan membandingkan keluaran frekuensi yang terukur dengan hasil perhitungan frekuensi

Tabel 1. Bentuk Perubahan Sinyal PWM

(%)	Bentuk Sinyal	(%)	Bentuk Sinyal
		0,775	
0,436		0,481	
0,397		0,0	

3.2 Analisa Pemrograman Rangkaian Terintegrasi

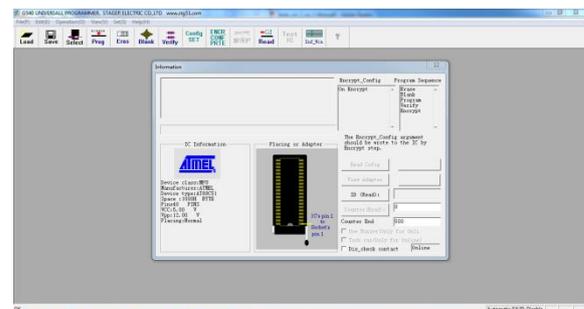
Pada penelitian ini dibutuhkan *software* dan *hardware* untuk implementasi ke rangkaian yang sebenarnya. Pembuatan program rangkaian logika

berdasarkan penelitian sebelumnya, dengan menggunakan aplikasi WinCUPL. Aplikasi ini dipilih karena penggunaannya yang lebih mudah dari aplikasi lainnya, seperti Warp, PALSM dan lain-lain. Aplikasi ini menggunakan bahasa C namun lebih sederhana. Program yang dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1

```
Name ATF ;
PartNo 00 ;
Date 8/22/2014 ;
Revision 01 ;
Designer Engineer ;
Company unej ;
Assembly None ;
Location ;
Device virtual ;
```

Gambar 3.1 Program rangkaian logika

Setelah didapat kan program tersebut kemudian program di-compile sehingga membentuk file *jedec* (.jed), file inilah yang nantinya akan dimasukkan kedalam IC. Apabila tidak ada error pada program dapat dilanjutkan pada pengujian secara simulasi, jika pada simulasi program sudah sesuai dengan rangkaian logika, maka selanjutnya diimplementasikan ke *hardware* dengan menggunakan Universal *downloader*. Pada penelitian ini menggunakan Genius G540 Universal *programmer* sebagai *downloader* IC ATF16v10. Berikut tampilan pada *Software Universal Downloader* pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tampilan Utama *Software Universal Programmer*

Kemudian pada *software downloader* tersebut akan ada banyak pilihan IC yang akan digunakan. Setelah memilih tipe IC yang sesuai yaitu IC ATF16v8, kemudian load file program dengan ekstensi *jedec* yang telah dibuat sebelumnya, kemudian IC diprogram. Untuk IC PLD hanya dapat diprogram dengan file yang berekstensi (.jed).

3.3 Pengujian Rangkaian Terintegrasi

Rangkaian terintegrasi (IC) yang digunakan untuk mengimplementasikan rangkaian gerbang *logic* yang telah dibuat adalah menggunakan IC ATF16V10 yang telah diprogram. Diperlihatkan bahwa terdapat lima pin masukan yang digunakan yaitu, *sensor hall A*, *sensor hall B*, *sensor hall C*, *direction*, dan PWM. Sedangkan keluaran yang digunakan sebanyak enam pin, yaitu masing-masing keluaran Q1-Q6. Pada pengujian ini akan dicari hubungan input dan output dari IC tersebut dan besar tegangan pada input dan output pada saat *high* dan *low*.

Hasil pengujian input dan output pada IC yang telah diprogram dapat dilihat pada table. Dimana data pengujian harus sama dengan data hasil proses rangkaian digital pada penelitian sebelumnya.

Tabel 2 Pengujian tegangan logic input dan output

Direction	Hall C	Hall B	Hall A	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	
C W	4,42V	4,41V	10,04mV	4,42V	2,796V	1,4mV	1,4mV	1,4mV	2,796V	1,4mV
	4,41V	4,42V	10,04mV	10,04mV	1,3mV	1,5mV	2,796V	1,4mV	2,796V	1,3mV
	4,42V	4,41V	4,42V	10,04mV	1,4mV	1,4mV	2,796V	2,796V	1,5mV	1,4mV
	4,43V	10,04mV	4,41V	4,41V	1,4mV	2,796V	1,4mV	2,796V	1,4mV	1,4mV
	4,42V	10,04mV	4,42V	4,42V	1,4mV	2,796V	1,4mV	1,4mV	1,3mV	2,796V
	4,42V	10,03mV	10,04mV	10,04mV	2,796V	1,4mV	1,4mV	1,4mV	1,4mV	2,796V
C C W	10,04mV	10,03mV	10,04mV	4,41V	1,4mV	1,4mV	2,796V	2,796V	1,5mV	1,3mV
	10,04mV	10,04mV	4,42V	4,42V	1,5mV	1,34mV	2,796V	1,4mV	2,796V	1,5mV
	10,04mV	10,04mV	4,42V	10,04mV	2,796V	1,4mV	1,4mV	1,4mV	2,796V	1,4mV
	10,04mV	4,41V	4,41V	10,04mV	2,796V	1,4mV	1,4mV	1,3mV	1,4mV	2,796V
	10,04mV	4,41V	10,04mV	10,04mV	1,4mV	2,796V	1,4mV	1,4mV	1,5mV	2,796V
	10,04mV	4,41V	10,04mV	4,41V	1,4mV	2,796V	1,4mV	2,796V	1,4mV	1,4mV

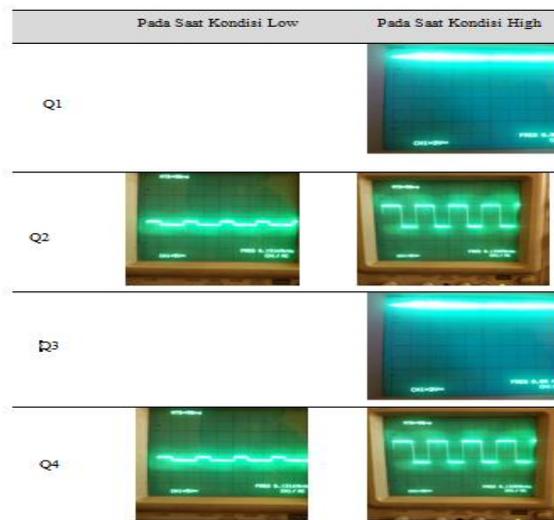
Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa pada saat input V_{IL} tegangan sebesar 10,3 sampai 10,4mV sedangkan pada datasheet membutuhkan tegangan V_{IL} sebesar -0,5 sampai 0,8 V agar memberikan logic low(0) dan pada saat high V_{IH} tegangan sebesar 4,41-4,42Volt, ini dikarenakan pada pin input diberi resistor *pullup* untuk menghindari kondisi tegangan ambang, sedangkan pada datasheet membutuhkan tengangan V_{IH} sebesar 2.0 sampai $V_{CC} + 0,75$ atau $4.42+0,75=5,17V$ agar mampu memberikan *logic high*. Kemudian pada pin output , V_{OL} sebesar 1,3 sampai 1.5 mV pada saat *low* dan V_{OH} sebesar 2,796V pada saat *high*. Dan nilai V_{OL} pada datasheet maksimum 0,5V dan V_{OH} minimal 2.4V Sehingga hanya akan didapat logika low dan high pada masing-masing input dan output. Dari hasil pengujian diatas didapat data *high* (1) dan *low* (0) yang sesuai dengan rangkaian *logic* yang telah dibuat sebelumnya. Berdasarkan pengujian juga didapatkan, bahwa IC ATF16v8 ini mampu beroperasi pada tegangan minimum sebesar 2,4 Volt diaman tegangan normal adalah 5 Volt. Sehingga apabila diaplikasikan ke mobil listrik pada saat tegangan baterai turun masih ada toleransi tegangan sebesar 2,6 Volt dari tegangan normal,

sehingga IC masih tetap bekerja hingga batas tegangan 2,4 Volt.

3.4 Pengujian rangkaian driver

Permasalahan pada implementasi rangkaian kendali *logic* ini adalah sama dengan rangkaian kendali elektronik pada umumnya yaitu menjaga agar rangkaian beroperasi pada level parameter yang sesuai. Pengujian rangkaian *driver* ini dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian *driver* memiliki respon frekuensi yang sesuai. Dengan demikian pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk gelombang menggunakan osiloskop.

Tabel 3 Pengujian pada masing-masing driver



Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa, gambar yang ditunjukkan pada Q1,Q2, dan Q3 adalah sama. Begitupula pada Q4,Q5,dan Q6 yang memiliki gelombang yang sama.

Pada saat pengambilan data diatas frekuensi dari PWM sebesar 8,172 KHz. Dan pada Q4,Q5,dan Q6 *driver* yang mendapatkan sinyal PWM juga memiliki frekuensi sebesar 8,133 KHz. Dari data tersebut membuktikan bahwa rangkaian *driver* ini mampu menjaga agar rangkaian beroperasi pada level parameter yang sesuai.

4.5 Pengujian Kecepatan motor

Pada pengujian ini akan dicari hubungan nilai PWM terhadap kecepatan motor. Sehingga nantinya dapat diketahui karakteristik motor yang dipakai yakni berupa linier atau tidaknya perubahan PWM terhadap kecepatan motor dan batas kecepatan maksimumnya.

Dari hasil pengujian maka didapatkan beberapa data akibat dari perubahan PWM atau *Dutycycle* tabel sedangkan grafik hubungan antara PWM terhadap speed ditunjukkan pada gambar

Tabel 4 Pengujian pada fasa motor

Dutycycle (%)	Speed (rpm)	Bentuk Sinyal pada Fasa Motor
20,436	32,1	
40,397	62,0	
60,775	89,4	
80,418	116,2	

Dari gambar dapat dilihat bahwa semakin besar nilai PWM (*dutycycle*) yang diberikan maka semakin cepat putaran motor atau dengan kata lain nilai PWM (*dutycycle*) berbanding lurus dengan kecepatan motor. Dan didapat kecepatan maksimumnya saat tegangan input 12,2 volt sebesar 116,2 rpm. Alasan bagaimana PWM dapat mengatur kecepatan motor adalah mengatur berapa persen tegangan input yang dialirkan ke motor yakni dengan mengatur lama waktu saat sinyal *high* terhadap periode PWM itu sendiri atau yang biasa disebut dengan *dutycycle* yang secara matematis dapat ditulis pada persamaan berikut.

$$V_{out} = \text{Dutycycle} * V_{in}$$

Dimana V_{out} merupakan tegangan output dari *inverter* atau tegangan input yang masuk ke motor, sedangkan V_{in} adalah tegangan baterai sebesar 12,2 volt. Sehingga untuk data pada Tabel 4 dapat dihitung tegangan input motornya.

Selain itu, dapat dilihat pada osiloskop yaitu sinyal dari salah satu fasa motor dimana metode *Six Step commutation* menciptakan gelombang AC yang berbentuk *trapezoid* atau *square* karena PWM yang digunakan dalam metode ini merupakan PWM *square*. Akibat dari gelombang yang berbentuk *square* atau *trapezoid* timbul gelombang harmonik. Gelombang harmonik inilah yang menyebabkan motor “bising” ketika berputar. Gelombang harmonik tersebut sangat jelas terlihat pada saat motor berputar pelan atau saat frekuensi rendah

yang dibuktikan dengan bentuk gelombang *trapezoid* tidak beraturan dan belum sempurna. Namun, saat motor berputar cepat atau saat frekuensi bertambah besar tepatnya saat PWM 200 hingga 255, bentuk gelombang *trapezoid* telah sempurna atau menyerupai sinyal sinusoidal sehingga suara motor menjadi lebih mulus.

4. 4. KESIMPULAN

1. Untuk memprogram IC *Programmable Logic device* menggunakan aplikasi WinCUPL yang paling mudah dalam pengoperasiannya.
2. Dengan tegangan rendah, sebesar 2,5 volt atau 50% dari tegangan V_{cc} , IC ini masih dapat bekerja.
3. Tegangan input pada saat *low* V_{IL} sebesar 10,3 sampai 10,4 mV, sedangkan nilai *high* V_{IH} tegangan sebesar 4,41-4,42 Volt.
4. Tegangan output pada saat *low* V_{OL} sebesar 1,3 sampai 1.5 mV, dan pada saat *high* V_{OH} sebesar 2,796V.
5. Perbandingan dengan menggunakan IC gerbang logika, maka penggunaan IC PLD ini sangat efisien dari segi fisiknya.
6. Perubahan PWM (*duty cycle*) pada motor BLDC mempengaruhi kecepatan pada motor BLDC. Semakin besar nilai PWM (*duty cycle*) putaran motor BLDC semakin cepat.

ACUAN REFERENSI

- Arbiantara H., Setiwan, A., Widjonarko, *Rancang Bangun Kendali Digital Motor Bldc untuk Mobil Listrik Universitas Jember*, Laporan Hasil Penelitian Hibah Bersaing 2013.
- Ali, Asif. *Control Of Bldc Motor With The Help Of Pulse Width Modulation*.
- Majhi, Bijoyprakash. 2012. *Analysis of Single-Phase SPWM Inverter*.
- Microchip Corp. 2002. *Brushless DC Motor Control Made Easy*.
- NEC Electronic Corporation. 2006. *3-Phase Brushless DC Motor Control 120-Degree Trapezoidal Drive with Hall Sensors for MC-LVKIT-714 Motor Control Evaluation System*. (Germany)