

**PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI MOTOR
TANPA SIKAT ARUS SEARAH ATAU *BRUSHLESS DIRECT
CURRENT (BLDC) MOTOR* TIGA FASA DENGAN ISOLATED
GATE DRIVER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Oleh :

ADRIAN SETA EKANANDA

NIM. I0716002

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA**

com/2020 user



SURAT TUGAS

Nomor : 065/TA/TE/2020

Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret memberikan tugas kepada:

Nama Mahasiswa : **Adrian Seta Ekananda**
NIM : **I0716002**
Bidang peminatan : **Sistem Mekatronika (SM)**
Pembimbing Utama : **Feri Adriyanto, Ph.D.**
NIP. **196801161999031001**
Pembimbing Pendamping : **Hari Maghfiroh M.Eng.**
NIP. **199104132018031001**
Mata kuliah pendukung : **1. Teknik Tenaga Listrik**
2. Elektronika Daya
3. Teknik Kendali Digital

untuk mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

Perancangan dan Analisis Sistem Kendali Motor Tanpa Sikat Arus Searah atau Brushless Direct Current (BLDC) Motor Tiga Fasa Dengan Isolated Gate Driver

Surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Surakarta, 16 Maret 2020
Kepala Program Studi

Feri Adriyanto, Ph.D.
NIP. 196801161999031001

Tembusan:

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA
3. Koordinator TA
4. Arsip

commit to user

SURAT PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS

Saya mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret Surakarta bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adrian Seta Ekananda
NIM : I0716002
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI MOTOR TANPA SIKAT ARUS SEARAH ATAU *BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC) MOTOR TIGA FASA DENGAN ISOLATED GATE DRIVER*

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang saya susun tidak mencontoh atau melakukan plagiat dari karya tulis orang lain. Jika terbukti tugas akhir yang saya susun tersebut merupakan hasil plagiat dari karya orang lain maka tugas akhir yang saya susun tersebut dinyatakan batal dan gelar sarjana yang saya peroleh dengan sendirinya dibatalkan atau dicabut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila dikemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, 8 Desember 2020



Adrian Seta Ekananda

NIM. I0716002

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN TIM PENGUJI
PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI MOTOR TANPA SIKAT
ARUS SEARAH ATAU BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC) MOTOR
TIGA FASA DENGAN ISOLATED GATE DRIVER**

Disusun Oleh

ADRIAN SETA EKANANDA

NIM 10716002

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Feri Adriyanto, Ph.D.
NIP. 196801161999031001

Hari Maghfiroh M.Eng.
NIP. 199104132018031001

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari Rabu tanggal 25 November 2020

- 1. **Feri Adriyanto, Ph.D.**
NIP. 196801161999031001
- 2. **Hari Maghfiroh M.Eng.**
NIP. 199104132018031001
- 3. **Dr. Miftahul Anwar S.Si., M.Eng.**
NIP. 196705062019031009
- 4. **Agus Ramelan, S.Pd., M.T.**
NIP. 196705062019031009

Mengetahui,

Kepala Prodi Teknik Elektro

Koordinator Tugas Akhir

Feri Adriyanto, Ph.D.
NIP. 196801161999031001

Muhammad Hamka I. S.T., M.Eng.
NIP. 196812292019031011

ABSTRAK

Adrian Seta Ekananda

PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI MOTOR TANPA SIKAT ARUS SEARAH ATAU *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* (BLDC) MOTOR TIGA FASA DENGAN ISOLATED GATE DRIVER

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) atau motor tanpa sikat arus searah merupakan salah satu jenis motor DC yang biasa digunakan untuk sepeda listrik, motor listrik, maupun mobil listrik. Penggunaan motor BLDC lebih banyak digunakan untuk kendaraan dibandingkan dengan jenis motor DC yang lain dikarenakan banyak keunggulan yang dimiliki motor BLDC terutama dalam melakukan kontrol yang lebih akurat. Supaya motor BLDC dapat dikendalikan secara akurat, maka dibutuhkan suatu alat untuk menggerakkan dan mengendalikan putaran motor BLDC yang biasa disebut dengan penggerak daya atau *driver* motor BLDC. *Driver* motor BLDC merupakan suatu kesatuan rangkaian elektronika daya dan untuk melakukan pengendalian kecepatannya dibutuhkan rangkaian kontrol. Pada penelitian ini *driver* motor BLDC akan membuat sistem kontrol pada motor BLDC. Penelitian dilakukan dengan merancang sistem kendali supaya kecepatan motor tetap stabil pada tingkatan tertentu dan melakukan kalibrasi sensor tegangan dan sensor arus yang terpasang pada *driver* motor. Kecepatan motor akan dikendalikan dengan memasukkan nilai PWM (*Pulse Width Modulation*), dimana setiap nilai PWM menghasilkan kecepatan yang berbeda-beda. *Driver* yang akan dirancang menggunakan jenis *Isolated Gate Driver* menggunakan IC optocoupler PC817 yang berfungsi mengisolasi antara rangkaian daya dan rangkaian kontrol, dan sebagai driver MOSFET supaya dapat melakukan *switching*. Pengujian sistem dilakukan dengan memberikan variasi beban berupa anak timbangan ke motor, sehingga kecepatan motor akan menurun ketika sudah mencapai set poin dan dapat kembali ke titik *steady state*. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa *driver* motor memiliki rata-rata efisiensi sebesar 35.74% pada pengukuran dengan multimeter dan 19,93% pada pengukuran dengan sensor dan rangkaian driver mengkonsumsi daya dengan rata-rata sebesar 1680 mW pada pengukuran dengan multimeter dan 1032 mW pada pengukuran dengan sensor.

Kata Kunci : *Motor BLDC, driver motor BLDC, Isolated Gate Driver, PWM*

ABSTRACT

Adrian Seta Ekananda

DESIGN AND ANALYSIS OF THREE-PHASE BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC) MOTOR CONTROL SYSTEM WITH ISOLATED GATE DRIVER

Brushless Direct Current (BLDC) motor or direct current brushless motor is one type of DC motor that is commonly used for electric bicycles, electric motors, and electric cars. The use of BLDC motors is more widely used for vehicles compared to other types of DC motors because there are many advantages of a BLDC motor, especially in carrying out a more accurate control. BLDC motor. In order to be able to control it accurately, a device is needed to drive and control the rotation of the BLDC motor which is commonly referred to as a power driver or BLDC motor driver. The BLDC motor driver is an integrated power electronic circuit and to control it, a control circuit is needed. In the research of BLDC motor drivers, it will make an optimal control system for the BLDC motor. The research was conducted by designing a control system so that the motor speed remains stable at a certain level and calibrating the voltage sensor and current sensor attached to the motor driver. The motor speed will be controlled by entering the PWM (Pulse Width Modulation) value, where each PWM value produces a different speed. The driver to be designed uses the Isolated Gate Driver type using the PC817 optocoupler IC which functions to isolate between the power circuit and the control circuit, and as a MOSFET driver so that it can perform switching. System testing is carried out by providing load variations in the form of weights to the motor, so that the motor speed will decrease when it reaches the set point and can return to the steady state point. The results of this test show that the motor driver has an average efficiency of 35.74% in measurements with a multimeter and 19.93% in measurements with sensors and driver circuits consuming an average of 1680 mW in measurements with a multimeter and 1032 mW in measurements with sensor.

Keywords :BLDC motor, BLDC motor driver , Isolated Gate Driver, PWM

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
SURAT TUGAS	ii
SURAT PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Sistematika Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Motor BLDC	10
2.3 Rangkaian Kontrol Motor BLDC	14
2.4 Sensor Hall	15
2.5 Arduino Uno R3.....	16
2.2.1 Spesifikasi Arduino Uno R3	17
2.2.2 Spesifikasi Pin Arduino Uno R3.....	18
2.2.3 Fungsi Pin Khusus.....	18
2.6 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)	19
2.7 Optocoupler PC817.....	21
2.8 Pull Resistor.....	23
2.9 Isolated Gate Driver	25
2.10 Inverter Full Bridge Tiga Fasa.....	27
2.11 Pulse Width Modulation (PWM).....	27
2.12 Sensor Tegangan DC (Pembagi Tegangan).....	28
2.13 Sensor Arus ACS712.....	29
2.14 Parameter Performa	30

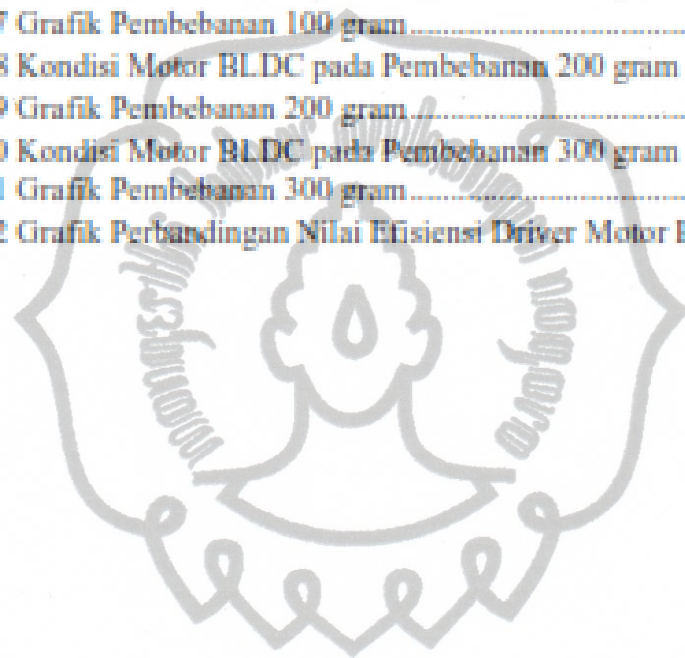
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Alur Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan	33
3.3 Perancangan Sistem.....	35
3.4 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	36
3.4.1 Perancangan Driver MOSFET 3 Fasa.....	37
3.4.2 Perancangan Sensor Tegangan.....	38
3.4.3 Perancangan Sensor Arus.....	39
3.5 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	40
3.5.1 Perancangan Algoritma Pembacaan Sensor Hall.....	42
3.5.2 Perancangan Algoritma Kendali Motor BLDC.....	46
3.5.3 Perancangan Algoritma Pembacaan Tegangan, Arus, dan Kecepatan Motor BLDC.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil Simulasi.....	49
4.1.1 Gelombang Keluaran Sensor Hall.....	49
4.1.2 Gelombang Keluaran PWM.....	50
4.1.3 Gelombang Keluaran Output Motor BLDC.....	51
4.2 Pembuatan Alat	53
4.3 Pengujian Gelombang Keluaran Driver	56
4.3.1 Gelombang Keluaran Ketiga Fasa	56
4.3.2 Gelombang Keluaran PWM.....	57
4.3.3 Gelombang Keluaran Sensor Hall.....	58
4.4 Pengujian Kalibrasi Sensor Tegangan.....	59
4.4.1 Hasil Pembacaan Tegangan	60
4.4.2 Hubungan Perubahan PWM dan Tegangan	61
4.5 Pengujian Kalibrasi Sensor Arus.....	61
4.5.1 Hasil Pembacaan Sensor Arus	61
4.5.2 Hubungan Perubahan PWM dan Arus	62
4.6 Pengujian Pembacaan Kecepatan Motor BLDC	63
4.6.1 Hasil Pembacaan Kecepatan Motor BLDC pada Variasi Nilai PWM 63	
4.6.2 Grafik Regresi Perubahan PWM dan Nilai Kecepatan Motor	64

4.7	Perbandingan Kecepatan Motor BLDC dengan Coding dan dengan Tachometer.....	65
4.7.1	Hasil Pembacaan Kecepatan	66
4.7.2	Perbandingan Nilai Kecepatan dengan Coding Arduino dan dengan Tachometer.....	66
4.8	Pengujian Kecepatan Motor BLDC pada Setpoint 60% dari Kecepatan Maksimum.....	67
4.8.1	Penetapan Nilai PWM Berdasarkan Nilai Regresi.....	67
4.8.2	Pengujian Respon Motor BLDC pada Setpoint Kecepatan.....	67
4.9	Pengujian Kecepatan Motor BLDC pada Variasi Pembebanan	68
4.9.1	Hasil Pembacaan Driver Dengan Beban 100 gram.....	69
4.9.2	Hasil Pembacaan Driver Dengan Beban 200 gram.....	70
4.9.3	Hasil Pembacaan Driver Dengan Beban 300 gram.....	71
4.10	Analisis Perbandingan Efisiensi Driver Motor BLDC	73
4.10.1	Pengukuran Efisiensi Driver Motor BLDC dengan Multimeter.....	74
4.10.2	Pengukuran Efisiensi Driver Motor BLDC dengan Sensor.....	74
4.10.3	Perbandingan Perhitungan Efisiensi Driver Motor BLDC	75
BAB V	KESIMPULAN.....	76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor Brushless DC.....	12
Gambar 2. 2 Rangkaian Ekuivalen Motor BLDC.....	13
Gambar 2. 3 Blok Diagram Rangkaian Kontrol Motor BLDC.....	14
Gambar 2. 4 Sensor Hall.....	15
Gambar 2. 5 Konstruksi Penempatan Sensor Hall pada Motor BLDC.....	16
Gambar 2. 6 Arduino Uno R3.....	17
Gambar 2. 7 MOSFET.....	20
Gambar 2. 8 MOSFET IRF540N.....	21
Gambar 2. 9 MOSFET IRF4905.....	21
Gambar 2. 10 Optocoupler PC817.....	23
Gambar 2. 11 Pull Up Resistor.....	24
Gambar 2. 12 Pull Down Resistor.....	25
Gambar 2. 13 Isolated Driver PC817.....	26
Gambar 2. 14 Pulse Width Modulation.....	28
Gambar 2. 15 Rangkaian Pembagi Tegangan.....	29
Gambar 2. 16 Sensor Arus ACS712.....	30
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	32
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Kontrol Motor BLDC.....	36
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pembuatan Hardware Driver Motor BLDC.....	37
Gambar 3. 4 Rangkaian Driver MOSFET 3 Fasa.....	38
Gambar 3. 5 Sensor Tegangan Input.....	39
Gambar 3. 6 Sensor Tegangan Output.....	39
Gambar 3. 7 Sensor Arus Input.....	40
Gambar 3. 8 Sensor Arus Output.....	40
Gambar 3. 9 Perancangan Software.....	41
Gambar 3. 10 Perubahan komutasi motor step 1 dan step 2.....	42
Gambar 3. 11 Perubahan komutasi motor step 3 dan step 4.....	43
Gambar 3. 12 Perubahan komutasi motor step 5 dan step 6.....	44
Gambar 3. 13 Algoritma Pembacaan Sensor Hall.....	45
Gambar 3. 14 Algoritma Sistem Kendali Motor BLDC.....	46
Gambar 3. 15 Algoritma Sistem Monitoring.....	48
Gambar 4. 1 Simulasi Gelombang Keluaran Sensor Hall.....	49
Gambar 4. 2 Simulasi Gelombang PWM Ketiga Fasa.....	51
Gambar 4. 3 Simulasi Gelombang Keluaran Fasa UVW.....	52
Gambar 4. 4 Desain Alat pada Eagle.....	54
Gambar 4. 5 Layout PCB.....	55
Gambar 4. 6 Hardware Driver.....	55
Gambar 4. 7 Gelombang Keluaran Fasa UVW.....	57
Gambar 4. 8 Gelombang PWM Fasa UVW.....	58
Gambar 4. 9 Gelombang Keluaran Sensor Hall.....	59
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan pada Pengukuran dengan Multimeter dan dengan Sensor beserta Hubungan Tegangan dengan PWM.....	61

Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Nilai Arus pada Pengukuran dengan Multimeter dan dengan Sensor beserta Hubungan Arus dengan PWM.....	63
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Nilai PWM dan Kecepatan Motor	65
Gambar 4. 13 Penghitungan Kecepatan Motor BLDC dengan Tachometer.....	65
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Nilai Kecepatan pada Pengukuran dengan Coding Arduino dan dengan Tachometer beserta Hubungan Kecepatan dengan PWM	67
Gambar 4. 15 Grafik Respon Transien Motor BLDC.....	68
Gambar 4. 16 Kondisi Motor BLDC pada Pembebanan 100 gram	69
Gambar 4. 17 Grafik Pembebanan 100 gram.....	70
Gambar 4. 18 Kondisi Motor BLDC pada Pembebanan 200 gram	71
Gambar 4. 19 Grafik Pembebanan 200 gram.....	71
Gambar 4. 20 Kondisi Motor BLDC pada Pembebanan 300 gram	72
Gambar 4. 21 Grafik Pembebanan 300 gram.....	73
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Nilai Efisiensi Driver Motor BLDC	75



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2. 2 Perbedaan In-Runner Motor dan Out-Runner Motor	13
Tabel 2. 3 Spesifikasi Umum Arduino UNO R3	17
Tabel 2. 4 Spesifikasi Pin Arduino UNO R3	18
Tabel 2. 5 Daftar Special Pin Arduino UNO R3	19
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan	33
Tabel 3. 2 Konfigurasi Sensor Hall pada Motor BLDC	42
Tabel 4. 1 Perbandingan Simulasi Kondisi Ketiga Sensor Hall	50
Tabel 4. 2 Perbandingan Simulasi Nilai PWM Ketiga Fasa	51
Tabel 4. 3 Perbandingan Simulasi Kondisi Keluaran Ketiga Fasa	52
Tabel 4. 4 Perbandingan Keluaran Ketiga Fasa	57
Tabel 4. 5 Perbandingan Nilai PWM Ketiga Fasa	58
Tabel 4. 6 Perbandingan Kondisi Ketiga Sensor Hall	59
Tabel 4. 7 Perbandingan Pengukuran Nilai Tegangan dengan Multimeter dan dengan Sensor Tegangan dan Hubungan Nilai Tegangan dengan PWM	60
Tabel 4. 8 Perbandingan Pengukuran Nilai Arus dengan Multimeter dan dengan Sensor Arus dan Hubungan Nilai Arus dengan PWM	62
Tabel 4. 9 Perbandingan Nilai PWM dengan Kecepatan Motor	64
Tabel 4. 10 Perbandingan Pengukuran Kecepatan Motor BLDC dengan Coding dan dengan Tachometer beserta Hubungan Kecepatan dengan PWM	66
Tabel 4. 11 Pengujian Motor dengan Setpoint Kecepatan 60% dari Kecepatan Maksimum	68
Tabel 4. 12 Pengujian Motor BLDC dengan Beban 100 gram	69
Tabel 4. 13 Pengujian Motor BLDC dengan Beban 200 gram	71
Tabel 4. 14 Pengujian Motor BLDC dengan Beban 300 gram	72
Tabel 4. 15 Perhitungan Efisiensi Driver dengan Pengukuran Daya Menggunakan Multimeter	74
Tabel 4. 16 Perhitungan Efisiensi Driver dengan Pengukuran Daya Menggunakan Sensor	75

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perancangan dan Analisis Sistem Kendali Motor Tanpa Sikat atau *Brushless Direct Current (BLDC) Motor* Tiga Fasa dengan *Isolated Gate Driver*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis tidak akan sampai pada tahap ini dan skripsi ini tidak akan pernah selesai jika penulis tidak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Feri Adriyanto, Ph.D, selaku Pembimbing I dan Bapak Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng selaku Pembimbing II yang selalu memberikan pengarahan, ide, saran, ilmu, bimbingan dan motivasi selama perkuliahan di Teknik Elektro sampai pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Miftahul Anwar S.Si., M.Eng, selaku Dosen Penguji I dan Bapak Agus Ramelan S.Pd., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan dukungan, ide, dan motivasi selama pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Ir.Augustinus Sudjono, M.T.selaku Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan pemahaman yang baik mengenai perkuliahan.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, motivasi, masukan dan inspirasi selama masa perkuliahan penulis.
5. Teman-teman Teknik Elektro 2016 dan Mekatronika 2016 yang telah bersama-sama berjuang dari nol selama masa perkuliahan penulis.
6. Teman-teman Lucy In The Sky yang sudah menjadi pelepas penat dan pemberi motivasi bagi penulis selama mengerjakan tugas skripsi ini
7. Keluarga tercinta, Bapak M. Taufiq Prayudono dan Ibu Dr. Retno Setianing, serta kedua adik saya, Alysha dan Avanto, yang selalu sabar memberikan

commit to user

semangat, motivasi, nasehat serta doa restu sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan skripsi ini.

8. dan semua pihak yang telah memberikan bantuan, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Penulis juga memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini.

Surakarta, 25 November 2020



Penulis