

**STUDI PENGGUNAAN *CRUMB RUBBER* SEBAGAI
PENGANTI AGREGAT HALUS PADA *ASPHALT
CONCRETE (AC)* DENGAN BAHAN PENGIKAT ASPAL
MODIFIKASI POLIMER SBS E-55**

*Study of the Use of Crumb Rubber as a Substitute of Fine Aggregate on Asphalt
Concrete (AC) With Asphalt Binder Modified Polymer SBS E-55.*

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik,
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik,
Universitas Sebelas Maret
Surakarta*



Disusun oleh:

ARDLI MUSTOFA IRSYAD
I0113014

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2017**

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI PENGGUNAAN *CRUMB RUBBER* SEBAGAI PENGANTI
AGREGAT HALUS PADA *ASPHALT CONCRETE (AC)* DENGAN BAHAN
PENGIKAT ASPAL MODIFIKASI POLIMER SBS E-55**

Study of the Use of Crumb Rubber as a Substitute of Fine Aggregate on Asphalt Concrete (AC) With Asphalt Binder Modified Polymer SBS E-55.



Disusun Oleh :

ARDLI MUSTOFA IRSYAD
I0113014

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendaran
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Ary Setyawan, MSc, PhD
NIP. 19661204 199512 1 001

Ir. Agus Sumarsono, MT
NIP. 19570814 198601 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PENGGUNAAN *CRUMB RUBBER* SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT HALUS PADA *ASPHALT CONCRETE* (AC) DENGAN BAHAN
PENGIKAT ASPAL MODIFIKASI POLIMER SBS E-55**

*Study of the Use of Crumb Rubber as a Substitute of Fine Aggregate on Asphalt
Concrete (AC) With Asphalt Binder Modified Polymer SBS E-55.*

SKRIPSI

Disusun oleh:

ARDLI MUSTOFA IRSYAD

I0113014

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada Hari

1. Ir. Ary Setyawan, MSc, PhD
NIP. 19661204 199512 1 001
2. Ir. Agus Sumarsono , MT
NIP. 19570814 198601 1 001
3. Dr. F. Pungky Pramesti, ST, MT
NIP. 19730429 200003 2 001
4. Slamet Jauhari Legowo, S.T., M.T
NIP. 19670413 199702 1 001

Disahkan,
Tanggal :
Kepala Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Wibowo, S.T., D.E.A.
NIP. 19681007 199502 1 001

MOTTO

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain”

(HR.Ahmad,Thabrani,Daruqutni)

“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil, tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna”

(Albert Einstein)

“Jika kalian berbuat baik, sesungguhnya kalian berbuat baik bagi diri kalian sendiri”

(QS. Al-isra:7)

“Kepuasan terletak pada usaha, bukan pada hasil. Berusaha dengan keras adalah kemenangan yang hakiki”

(Mahatma Gandhi)

“Jalan hidup sudah ada yang menentukan, kita tinggal menikmatinya dengan perjuangan”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada **Allah SWT** yang telah memberiku semua keberkahan dan kelancaran selama hidupku. Alhamdulillah, Bersyukur Kepada Allah

Kedua Orangtua

Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, motivasi dan doanya, sehingga saya bisa mencapai gelar sarjana seperti yang bapak dan ibu inginkan.

Ir. Ary Setyawan, MSc, PhD, Ir. Agus Sumarsono, M.T, dan dosen-dosen Teknik Sipil FT UNS

Terima kasih untuk segala ilmu pengetahuan, bantuan, bimbingan serta pengalaman yang telah bapak dan ibu berikan kepada saya.

Teman-teman Skripsi

Terima kasih Rama, Hanan, dan Sebastian yang membantu dalam laboratorium dan berjuang dalam suka dan duka selama menempuh skripsi.

Teman-teman Teknik Sipil 2013

Terima kasih atas kerjasamanya untuk selalu membantu, menemani dan mendukung saat kuliah baik susah maupun senang. *Thank you all for everything.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.5.1. Manfaat Teoritis.....	5
1.5.2. Manfaat Praktis	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka.....	6
2.2. Dasar Teori.....	9
2.2.1. Pembebanan Pada Perkerasan Jalan.....	9
2.2.2. Struktur Perkerasan.....	10
2.2.2.1 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>)	10

2.2.2.2	Lapis pondasi atas (<i>Base Course</i>).....	10
2.2.2.3	Lapis pondasi bawah (<i>Subbase Course</i>).....	10
2.2.2.4	Lapisan Tanah dasar (<i>Subgrade</i>).....	11
2.2.3.	<i>Asphalt Concrete (AC)</i>	11
2.2.4.	Spesifikasi Campuran <i>Asphalt Concrete</i>	13
2.2.5.	Kadar Aspal Optimum Rencana.....	13
2.2.6.	Material Penyusun <i>Asphalt Concrete (AC)</i>	14
2.2.6.1	Aspal.....	14
2.2.6.2	Agregat	15
2.2.6.3	<i>Filler</i>	17
2.2.7.	<i>Crumb Rubber</i>	18
2.2.8.	Starbit (SBS E-55).....	21
2.2.9.	Aspal Modifikasi Starbit E-55	22
2.2.10.	Karakteristik Campuran	25
2.2.10.1	Stabilitas.....	25
2.2.10.2	<i>Flow</i>	25
2.2.10.3	<i>Durability</i> (daya tahan).....	26
2.2.10.4	Skid Resistance.....	26
2.2.10.5	Fleksibilitas.....	27
2.2.10.6	Porositas.....	27
2.2.10.7	Fatigue Resistance.....	27
2.3.	Pengujian Campuran <i>Asphalt Concrete</i>	28
2.3.1.	Pengujian Volumetrik.....	28
2.3.1.1	Densitas	28
2.3.1.2	<i>Specific Gravity (SG Mix)</i>	28
2.3.1.3	Porositas.....	29
2.3.2.	Pengujian Marshall	29
2.3.2.1	Stabilitas.....	29
2.3.2.2	<i>Flow</i>	30
2.3.2.3	<i>Marshall Quotient</i>	30
2.3.3.	Pengujian Permeabilitas.....	30
2.3.4.	Pengujian Cantabro	32

2.4 Analisis Data Hasil Penelitian	
2.4.1. Analisis Regresi.....	33
2.4.2. Analisis Korelasi.....	34

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum.....	36
3.2. Data Penelitian.....	37
3.2.1. Data Primer	37
3.2.2. Data Sekunder.....	37
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	38
3.4. Mencari Refrensi Terkait.....	40
3.5. Alat dan Bahan.....	40
3.5.1. Alat	40
2.2.10.1 Satu set alat uji Penetrasi Bitumen.....	40
2.2.10.2 Satu set alat uji Titik Lembek Bitumen.....	41
2.2.10.3 Satu set alat uji titik nyala dan titik bakar.....	41
2.2.10.4 Satu set alat uji daktilitas bitumen.....	42
2.2.10.5 Satu set alat uji berat jenis bitumen.....	43
2.2.10.6 Satu set kelekatan bitumen terhadap agregat.....	43
2.2.10.7 Satu Set Analisis Saringan.....	44
2.2.10.8 Satu Set Alat Job Mix.....	44
2.2.10.9 Satu Set Alat Uji Marshall	45
2.2.10.10 Satu set alat uji permeabilitas tipe AF-16.....	46
2.2.10.11 Satu Set Alat pengujian Cantabro	47
2.2.10.11 Alat Penunjang.....	47
3.5.2. Bahan	47
2.2.6.1 Aspal	48
2.2.6.2 Agregat	48
2.2.6.3 <i>Filler</i>	49
2.2.6.3 <i>Crumb Rubber</i>	49

3.6.	Pemeriksaan Bahan.....	50
3.6.1.	Pemeriksaan Agregat	50
3.6.2.	Pemeriksaan Aspal	50
3.6.3.	Pemeriksaan Filler	53
3.6.4.	Pemeriksaan Crumb Rubber	54
3.7.	Pembuatan Benda Uji	54
3.7.1.	Penentuan Gradasi	54
3.7.2.	Penentuan Kadar Aspal Optimum	56
3.7.2.	Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal Optimum	60
3.8.	Pengujian Benda Uji.....	60
3.8.1.	Uji Marshall	60
3.8.3.	Uji Permeabilitas.....	61
3.8.4.	Uji Cantabro.....	64
3.9.	Analisis Data.....	65

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.	Data Pemeriksaan Bahan Penelitian.....	66
4.1.1.	Data Pemeriksaan Aspal	66
4.1.2.	Data Pemeriksaan Agregat.....	67
4.1.3.	Data Pemeriksaan <i>Filler</i>	68
4.2.	Pembuatan Benda Uji	69
4.2.1.	Gradasi Benda Uji	69
4.2.2.	Kadar Aspal Optimum Rencana (Pb)	70
4.2.3.	Hasil Perencanaan Benda Uji <i>Crumb Rubber</i>	71
4.2.4.	Hasil Perencanaan Benda Uji Tanpa <i>Crumb Rubber</i>	78
4.3.	Hasil Pengujian Marshall.....	81
4.3.1.	Hasil Pengujian Benda Uji Crumb Rubber.....	81
4.3.2.	Hasil Pengujian Benda Uji Tanpa Crumb Rubber.....	88
4.4.	Perhitungan Nilai Kadar Aspal Optimum	96
4.5.	Karakteristik Campuran saat Kadar Aspal Optimum	97
4.6.	Hasil Pengujian Permeabilitas	98
4.7.	Hasil Pengujian <i>Cantabro</i>	101
4.8.	Pembahasan Hasil Penelitian	103

4.8.1 Perbandingan Densitas	103
4.8.2 Perbandingan Porositas	105
4.8.3 Perbandingan Nilai <i>Flow</i>	106
4.8.4 Perbandingan Nilai Stabilitas	108
4.8.5 Perbandingan <i>Marshall Quotient</i>	110
4.8.6 Pembahasan Hasil Permeabilitas	111
4.8.7 Pembahasan Hasil Cantabro	113
4.9. Rekapitulasi Hasil Penelitian	114

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	115
5.2. Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA.....	117
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Beraspal AC.....	12
Tabel 2.2. Gradasi Agregat Menurut Standar Bina Marga.....	13
Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Kasar.....	16
Tabel 2.4. Ketentuan Agregat Halus.....	17
Tabel 2.5. Kriteria Pemeriksaan Bahan Pengisi (Filler).....	18
Tabel 2.6. Persyaratan aspal Modifikasi.....	25
Tabel 2.7. Klasifikasi Permeabilitas Campuran Aspal.....	32
Tabel 3.1. Gradasi AC Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.....	54
Tabel 3.2. Median Gradasi Spesifikasi Bina Marga 2010.....	55
Tabel 3.3. Jumlah benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum	56
Tabel 3.4. Jumlah Benda Uji pada kadar aspal optimum	59
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Aspal Modifikasi SBS E-55).....	66
Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan <i>Coarse Aggregate</i> (CA).....	67
Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan <i>Fine Aggregate</i> (CA).....	67
Tabel 4.4. Gradasi Spesifikasi Bina Marga 2010.....	69
Tabel 4.5. Median Gradasi Spesifikasi Bina Marga	69
Tabel 4.6. Perhitungan agregat dengan tebal rerata sampel = 6 cm.....	73
Tabel 4.7. Perhitungan agregat dengan tebal rerata sampel = 6,5 cm.....	74
Tabel 4.8. Perhitungan agregat dengan tebal rerata sampel = 6,33 cm.....	75
Tabel 4.9. Rekapitulasi hasil perhitungan agregat dengan <i>crumb rubber</i> sebagai pengganti <i>fine aggregate</i>	77
Tabel 4.10. Rekapitulasi hasil perhitungan agregat dengan <i>crumb rubber</i> sebagai pengganti <i>fine aggregate</i>	80
Tabel 4.11. Hasil uji <i>volumetric</i> dan <i>marshall</i> pada AC SBS E-55 dengan <i>crumb rubber</i> sebagai pengganti <i>fine aggregate</i>	81
Tabel 4.12. Rekapitulasi perhitungan Marshall untuk AC SBS E-55 dengan <i>crumb rubber</i> sebagai pengganti <i>fine aggregate</i>	82

Tabel 4.13.	Hasil uji <i>volumetric</i> dan <i>marshall</i> pada AC SBS E-55 tanpa <i>crumb rubber</i> sebagai pengganti <i>fine aggregate</i>	90
Tabel 4.14.	Rekapitulasi perhitungan Marshall untuk AC SBS E-55 tanpa <i>crumb rubber</i> sebagai pengganti <i>fine aggregate</i>	91
Tabel 4.15.	Rekapitulasi Nilai Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Benda Uji dengan Kadar Aspal Optimum.....	97
Tabel 4.16.	Hasil pengujian permeabilitas campuran AC SBS E-55 dengan substitusi <i>crumb rubber</i> pada <i>fine aggregate</i>	99
Tabel 4.17.	Hasil pengujian permeabilitas campuran AC SBS E-55 tanpa substitusi <i>crumb rubber</i> pada <i>fine aggregate</i>	100
Tabel 4.18.	Hasil pengujian <i>Cantabro</i> campuran AC SBS E-55 dengan substitusi <i>crumb rubber</i> pada <i>fine aggregate</i>	101
Tabel 4.18.	Hasil pengujian <i>Cantabro</i> campuran AC SBS E-55 tanpa substitusi <i>crumb rubber</i> pada <i>fine aggregate</i>	102
Tabel 4.19.	Rekapitulasi Hasil Penelitian.....	114

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Distribusi Beban Roda Pada Lapis Perkerasan Jalan	9
Gambar 2.2. Struktur Perkerasan Jalan Lentur	11
Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	39
Gambar 3.2. Alat Uji Penetrasi	40
Gambar 3.3. Alat Uji Titik Lembek	41
Gambar 3.4. Alat Uji Titik Nyala, Titik Bakar	42
Gambar 3.5. Alat Uji Daktilitas	42
Gambar 3.6. Alat Uji Berat Jenis	43
Gambar 3.7. Alat Uji Kelekatan.....	43
Gambar 3.8. Alat Uji Analisis Saringan	44
Gambar 3.9. Compactor	45
Gambar 3.10. Dongkrak.....	45
Gambar 3.11. Alat Uji Marshall.....	46
Gambar 3.12. <i>Waterbath</i>	46
Gambar 3.13. Alat Uji Permeabilitas	46
Gambar 3.14. Alat Uji Cantabro	47
Gambar 3.15. Aspal SBS E-55.....	48
Gambar 3.16. Starbit E-55	48
Gambar 3.17. PT. Pancadarma Puspawira.....	48
Gambar 3.18. Agregat.....	48
Gambar 3.19. Filler Semen Portland.....	49
Gambar 3.20. <i>Crumb Rubber</i>	49
Gambar 3.21. CV. Duta Ban	49
Gambar 3.22. Pengujian Berat Jenis <i>Crumb Rubber</i>	54
Gambar 3.23. Grafik gradasi Asphalt Concrete	56
Gambar 3.24. Mengukur tebal benda uji.....	58
Gambar 3.25. Menimbang benda uji.....	58
Gambar 3.26. Merendam benda uji.....	58
Gambar 3.27. Benda uji dilap untuk berat SSD.....	58

Gambar 3.28.	Pemasangan benda uji pada bejana	62
Gambar 3.29.	Pengujian permeabilitas	63
Gambar 3.30.	Benda Uji Sebelum Uji Cantabro.....	64
Gambar 3.31.	Memasukan benda uji ke mesin <i>Cantabro</i>	64
Gambar 3.32.	Menjalankan mesin <i>Cantabro</i>	64
Gambar 3.33.	Benda Uji Setelah Uji <i>Cantabro</i>	65
Gambar 4.1.	Agregat Kasar.....	68
Gambar 4.2.	Agregat Halus.....	68
Gambar 4.3.	Grafik gradasi Asphalt Concrete	70
Gambar 4.4.	Benda Uji AC SBS E-55 dengan <i>Crumb Rubber</i>	76
Gambar 4.5.	Benda Uji AC SBS E-55 Tanpa <i>Crumb Rubber</i>	79
Gambar 4.6.	Hubungan Kadar Aspal dengan Densitas Benda Uji menggunakan <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	85
Gambar 4.7.	Hubungan Kadar Aspal dengan Porositas Benda Uji menggunakan <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	86
Gambar 4.8.	Hubungan Kadar Aspal dengan Flow Benda Uji menggunakan <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	86
Gambar 4.9.	Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Benda Uji menggunakan <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	87
Gambar 4.10.	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Marshall Quotient</i> Benda Uji menggunakan <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	87
Gambar 4.11.	Hubungan Kadar Aspal dengan Densitas Benda Uji tanpa <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	92
Gambar 4.12.	Hubungan Kadar Aspal dengan Porositas Benda Uji tanpa <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	93
Gambar 4.13.	Hubungan Kadar Aspal dengan Flow Benda Uji tanpa <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	93
Gambar 4.14.	Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Benda Uji tanpa <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	94

Gambar 4.15. Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Marshall Quotient</i> Benda Uji tanpa <i>Crumb Rubber</i> sebagai Pengganti Agregat Halus.....	94
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Densitas.....	103
Gambar 4.17 AC SBS-E55 CR.....	104
Gambar 4.18 AC SBS E-55 Tanpa CR.....	104
Gambar 4.19. Grafik Perbandingan Nilai Porositas.....	105
Gambar 4.20 Penampang AC SBS E-55 CR	106
Gambar 4.21 Penampang AC SBS E-55.....	106
Gambar 4.22. Grafik Perbandingan Nilai <i>Flow</i>	107
Gambar 4.23. Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas.....	109
Gambar 4.24. Grafik Perbandingan Nilai <i>Marshall Quotient</i>	110
Gambar 4.25. Grafik Perbandingan Nilai Permeabilitas.....	112
Gambar 4.26. Grafik Perbandingan Nilai Cantabro.....	115

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

AC	= Asphalt Concrete
CR	= Crumb Rubber
W_w	= Berat di dalam air
W_{dry}	= Berat di udara
W_s	= Berat SSD
cm	= centimeter
D	= Densitas
°C	= Derajat <i>Celcius</i>
d	= Diameter sampel
k	= Faktor kalibrasi alat
f	= <i>Flow</i>
gr	= gram
JMF	= <i>job mix formula</i>
kg	= kilogram
r	= Koefisien korelasi
H	= Koreksi tebal benda uji
ITS	= Kuat tarik tidak langsung
A	= Luas permukaan benda uji
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
mm	= Milimeter
q	= Pembacaan stabilitas alat
Wah	= Persen berat agregat halus
Wak	= Persen berat agregat kasar
Wb	= Persen berat aspal
Wf	= Persen berat <i>filler</i>
%	= Persentase
P	= Porositas
π	= phi (3,14)
SG_{mix}	= <i>Specific Gravity</i> campuran
SG	= <i>Specific Gravity</i> tiap komponen campuran

S = Stabilitas
BS = British Standard
SNI = Standart Nasional Indonesia
h = Tebal rata-rata benda uji
L = Tebal sampel
VIM = *Void In Mix*

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data Primer Penelitian

Hasil Specific Gravity Crumb Rubber.....	A-1
Kebutuhan Agregat campuran dengan Crumb Rubber kadar aspal 5%.....	A-2
Kebutuhan Agregat campuran dengan Crumb Rubber kadar aspal 5,5%.....	A-3
Kebutuhan Agregat campuran dengan Crumb Rubber kadar aspal 6%.....	A-4
Kebutuhan Agregat campuran dengan Crumb Rubber kadar aspal 6,5%.....	A-5
Kebutuhan Agregat campuran dengan Crumb Rubber kadar aspal 7%.....	A-6
Kebutuhan Agregat campuran tanpa Crumb Rubber kadar aspal 5%.....	A-7
Kebutuhan Agregat campuran tanpa Crumb Rubber kadar aspal 5,5%.....	A-8
Kebutuhan Agregat campuran tanpa Crumb Rubber kadar aspal 6%.....	A-9
Kebutuhan Agregat campuran tanpa Crumb Rubber kadar aspal 6,5%.....	A-10
Kebutuhan Agregat campuran tanpa Crumb Rubber kadar aspal 7%.....	A-11

Lampiran B Data Sekunder Penelitian

Hasil Specific Gravity Semen Portland.....	B-1
--	-----

Lampiran C Dokumentasi Penelitian

Lampiran D Kelengkapan Administrasi

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya, akhirnya Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Penggunaan *Crumb Rubber* Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada *Asphalt Concrete (AC)* Dengan Bahan Pengikat Aspal Modifikasi Polimer SBS E-55.” tepat pada waktunya. Penelitian ini disusun guna memenuhi salah satu syarat dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dalam penulisan skripsi ini sehingga semuanya dapat berjalan lancar. Oleh karena itu Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Ary Setyawan, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengarahan selama penulisan skripsi.
2. Ibu Ir. Agus Sumarsono, M.T selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahannya selama penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Dewi Handayani, ST, MT selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan akademik selama kuliah.
4. Keluarga Penulis yang selalu memberikan dukungan dalam penulisan skripsi.
5. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil UNS 2013 yang terus memberikan semangat dan bantuan dalam penulisan skripsi.
6. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya mahasiswa Teknik Sipil.

Surakarta, September 2017

Penulis