



LAPORAN TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN NANO SILIKA PADA
KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN KETAHANAN
CANTABRO TERHADAP ASPAL PORUS**

Oleh :

Stenly William Palallo

NIM.40030521650063

Muhamad Sa'ad Ilham

NIM.40030521650127

Diajukan sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Sarjana Terapan Program
Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur
Universitas Diponegoro

**PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS
DIPONEGORO**

2026



LEMBAR ASISTENSI

Nama : Stenly Wilam Palalib & Muhamad Saad Ilham
 NIM : 40030521650063 & 40030521650127
 Mata Kuliah : Tugas Akhir
 Asistensi :
 Dosen :

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	16 Oktober 2025	<ul style="list-style-type: none"> -Revisi latar belakang (dipokuskan permasalahan pengujian marshall dan cantabro -Maksud & Tujuan ditambahkan biaya -Membuat narasi paragraf setiap tabel 	<i>Fms</i>
2.	4 November 2025	<ul style="list-style-type: none"> -Merubah tabel literatur review menjadi metode & hasil -membuat narasi literatur review -menambah riset jurnal nanosilika terdahulu -berikan sitasi pada metode percampuran manan silika & aspal 	<i>Fms</i>
3	13 November 2025	<ul style="list-style-type: none"> -latar belakang dibuat lebih rinci & berurutan mulai dari permasalahan -manfaat nano silika -Menambah pengujian material aspal inovasi <i>pu</i> -langkah pengujian pada Bab <u>III</u> dibuat menjadi paragraf saja 	<i>Fms</i>



No.	Tanggal	Uraian	Paraf
4.	11 Desember 2025	<ul style="list-style-type: none">- Cek margin- memilih salah satu penulisan porous / porous- Banyak bahasa Inggris yang fontnya belum italic- merubah penggunaan kalimat pada tjuan bagian analisis harga- rata kanan kanan - kiri- Berikan kalimat pendahuluan setelah sub bab- Penulisan caption tabel & gambar- Revisi penggunaan kalimat pada pembuatan benda uji- referensi harga nano silika	
5	12 Desember 2025	<ul style="list-style-type: none">- hitamkan penulisan caption- literatur review ditampikan- Diagram pada bab 4 diperjelas- Berikan sitasi dari hasil pengujian- Berikan kesimpulan Bab V	
.			
	20 Januari 2026	ACC Dosen Pembimbing 1	



LEMBAR ASISTENSI

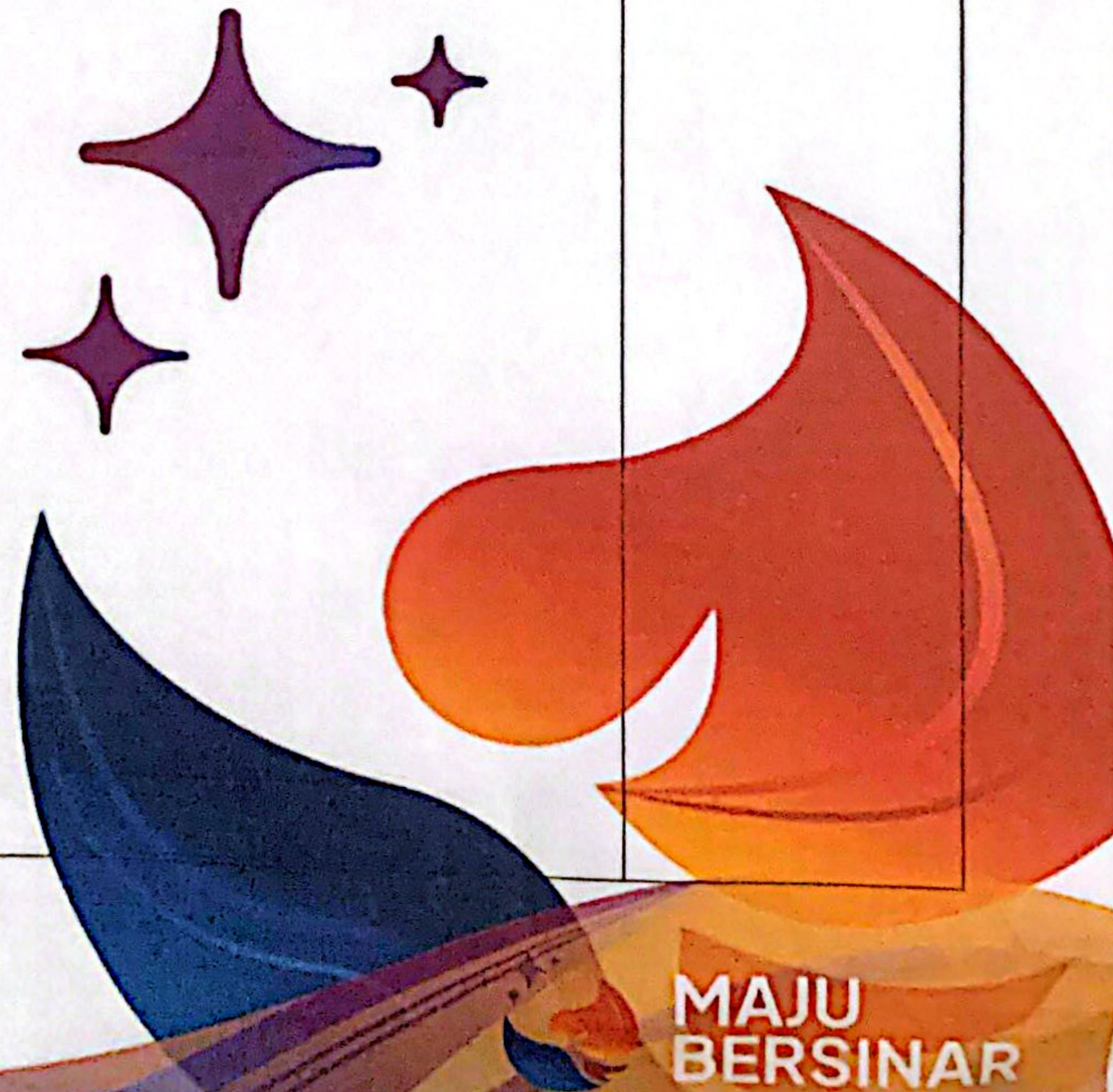
Nama : Stenly William Patallo & Muhamad Sa'ad. Ilham
NIM : 40030521650063 & 40030521650124
Mata Kuliah : Tugas Akhir
Asisten :
Dosen : Dita Mentari Putri S.T., M.T.

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1	11 Desember 2025	<ul style="list-style-type: none">- Cek Margin- Rapihkan penulisan- Sitasi (mendley)- Revisi maksud & tujuan- Memberikan kalimat pendahuluan setiap penulisan Bab- Rata kanan kiri- Caption tabel & gambar	
2	7 Januari 2026	<ul style="list-style-type: none">- Rapihkan after space- Penulisan paragraf- Pemberian daftar pustaka- Rapihkan tabel- Revisi perapihan margin- Penulisan sitasi yang benar seperti contoh- Kalimat penghubung tabel dengan paragraf- Revisi hasil cantabro & kesimpulan	



LEMBAR ASISTENSI

No	Tanggal	Uraian	Paraf
3.	20 Januari 2026	- Sitasi - Revisi penulisan bagian cantaboo	Ditp
		ACC	Ditp.



MAJU
BERSINAR

ABSTRAK

Aspal sering kali mengalami kerusakan dini yang diakibatkan oleh curah hujan yang tinggi, beban yang berlebih dan campuran mutu. Kerusakan yang diakibatkan oleh curah hujan yang menyebabkan genangan air dapat diatasi dengan penggunaan aspal porus atau aspal berpori yang berfungsi sebagai sistem drainase. Penelitian ini menganalisa pengaruh nano silika pada campuran aspal porus dengan standar *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Marshall Test* dan *Cantabro Loss Test* untuk membandingkan karakteristik konvensional dengan inovasi. Inovasi nano silika kadar 6% mendapatkan hasil *Void in the Mix* (VIM) sebesar 19,195%; stabilitas sebesar 814,762 kg; *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 164,598 kg/mm; *flow* sebesar 4,950 mm; *Void in Mineral Aggregate* (VMA) sebesar 28,245% dan *Cantabro Loss* sebesar 11,47% dengan biaya Rp 2.017.804 per m³. Hasil ini menunjukkan modifikasi dengan nano silika berhasil meningkatkan karakteristik *Marshall* dan *Cantabro Loss* terhadap aspal porus dengan biaya yang lebih mahal.

Kata Kunci : Aspal Porus, *Cantabro Loss*, *Marshall Test*, Nano Silika

ABSTRACT

Asphalt often experiences premature damage caused by high rainfall, excessive loads, and poor mix quality. Damage caused by rainfall that results in water pooling can be overcome by using porous asphalt or porous asphalt that functions as a drainage system. This study analyzes the effect of nano silica on porous asphalt mixes according to Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004 standards. The tests conducted were the Marshall Test and Cantabro Loss Test to compare conventional characteristics with innovations. The 6% nano silica innovation yielded a Void in the Mix (VIM) result of 19.195%; stability of 814.762 kg; Marshall Quotient (MQ) of 164.598 kg/mm; flow of 4.950 mm; Void in Mineral Aggregate (VMA) of 28.245%; and Cantabro Loss of 11.47%, with a cost of Rp 2,017,804 per m³. These results indicate that modification with nano silica successfully improves the Marshall and Cantabro Loss characteristics of porous asphalt at a higher cost.

Keywords : Porous Asphalt, Cantabro Loss, Marshall Test, Nano Silica

Kata Pengantar

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunianya penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Nano Silika Pada Karakteristik *Marshall* dan Ketahanan *Cantabro* Terhadap Aspal Porus”.

Laporan Tugas Akhir disusun guna menyelesaikan masa perkuliahan Pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Penulis sangat menerima segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun penulis untuk kedepannya. Penulis juga menyadari tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak Tugas Akhir ini tidak dapat terselsaikan, oleh karena, dalam kesempatan ini izinkan penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada pihak – pihak berikut :

1. Tuhan Yang Maha Esa, telah mencurahkan berkat karunia dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis diberi kemudahan dan kesabaran untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kepada orang tua dan seluruh keluarga penulis, yang selalu memberikan motivasi dan selalu mendukung baik secara material dan *support system* setiap saat sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan ini.
3. Ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Universitas Diponegoro.
4. Ibu Fardzanela Suwanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dita Mentari Putri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II. Dengan sabar membimbing dan memberi masukan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir sehingga laporan ini dapat tersusun dengan baik.
5. Bapak Muhammad Ismail Hasan, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis I dan Bapak Bambang Setiabudi S.T., M.T. selaku dosen wali penulis II yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan berkas untuk keperluan administratif.

6. Kepada Batsainah Irbah, Naufal Dzaky Kurniawan, Bayu Aji Rury Amrulloh, dan Anggita Ni'matun Zulfa yang telah membantu penulis dalam proses penelitian yang bertempat di Laboratorium Sipil Arsitektur.
7. Kepada Yosua Suranta Sembiring, Redho Afdal, Bagas Danu Ega, Nino Albar Poetro Wilonggo, Satrio Anggoro Kusuma Anggara, Fauzan Yandi Dharmawan, Muhamad Gilang Prakasya, Hilmy Fadhilah Arienda, Dendy Armayadi Ampulembang, Iqbal Zaidan Prasajo, Vibisana Loka Candra, Daniel Aulia Muttaqien, Keith Lengka Pratama dan Andre Kalla yang telah membantu penulis baik moril serta dukungan lainnya.
8. Seluruh dosen atau tenaga pengajar dan seluruh staf Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur yang telah memberi ilmu dan memfasilitasi seluruh proses perkuliahan sehingga penulis dapat menjalani seluruh rangkaian perkuliahan dengan lancar sekaligus mendukung dan menjadi pedoman ilmu dalam menyusun tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR	i
ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
Kata Pengantar.....	iv
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSAKA.....	5
2.1 Aspal Porus	5
2.1.1 Pengertian Aspal Porus.....	5
2.1.2 Karakteristik Aspal Porus	6
2.1.3 Material Penyusun Aspal Porus	7
2.1.4 Agregat Aspal Porus.....	8
2.1.5 Gradasi Campuran Aspal Porus	10
2.2 Kekurangan Aspal Porus.....	10
2.3 Nano Silika.....	11
2.3.1 Kandungan Nano Silika.....	11
2.3.2 Manfaat Nano Silika Pada Aspal	11
2.4 Pengujian <i>Marshall</i>	12
2.5 Pengujian <i>Cantabro</i>	14
2.6 Literatur Review	14
2.6.1 Kadar Bahan Tambah Inovasi Optimum	15
2.6.2 Metode Pencampuran Aspal	18
2.6.3 Perbandingan Efisiensi Aspal Porus dan Aspal Konvensional	18
2.6.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu.....	19
□ Menyebabkan nilai <i>cantabro</i> menurun	19

BAB III.....	23
3.1 Metode Peneliatian	23
3.2 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan	23
3.3 Diagram dan Alur Penelitian.....	23
3.4 Metode Pengujian Bahan dan Material.....	24
3.4.1 Agregat Kasar	24
3.4.2 Agregat Halus	30
3.4.3 Aspal.....	34
3.5 Pembuatan Benda Uji	40
3.6 Pengujian Benda Uji dengan <i>Marshall Test</i>	42
3.7 Pengujian Benda Uji dengan <i>Cantabro Test</i>	43
3.8 Standar Penelitian.....	45
3.9 Metode Pengolahan Inovasi Material Nano Silika.....	45
BAB IV	47
HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Pengujian Aspal.....	47
4.1.1 Berat Jenis Aspal.....	47
4.1.2 Titik Lembek Aspal.....	48
4.1.3 Daktilitas Aspal.....	48
4.1.4 Penetrasi Aspal.....	49
4.1.5 Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	50
4.2 Pengujian Material.....	51
4.2.1 Agrabat Kasar	52
4.2.2 Agrabat Halus	56
4.2.3 Agregat Kasar	62
4.3 Penentuan Hasil Kadar Aspal Optimum.....	65
4.3.1 Marshall Test Kadar Aspal Kovensional	66
4.4 Pengujian Aspal Inovasi.....	71
4.4.1 Penetrasi Aspal.....	71
4.4.2 Daktilitas Aspal.....	72
4.5 <i>Marshall Test</i> Aspal Inovasi.....	73
4.6 <i>Cantabro Test</i> Aspal Inovasi	80

4.7 Analisis Harga	82
BAB V.....	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	86

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 3. 1 Diagram Alir</i>	23
<i>Gambar 3. 2 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar</i>	25
<i>Gambar 3. 3 Pengujian Analisis Saringan dan Penyerapan</i>	27
<i>Gambar 3. 4 Pengujian Los Angeles Abrasion Test</i>	28
<i>Gambar 3. 5 Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal</i>	29
<i>Gambar 3. 6 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus</i>	31
<i>Gambar 3. 7 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan</i>	32
<i>Gambar 3. 8 Pengujian Kadar Lumpur</i>	33
<i>Gambar 3. 9 Pengujian Penetrasi 60/70</i>	35
<i>Gambar 3. 10 Pengujian Daktilitas Aspal Konvensional</i>	36
<i>Gambar 3. 11 Pengujian Titik Lembek</i>	37
<i>Gambar 3. 12 Pengujian Berat Jenis Aspal</i>	38
<i>Gambar 3. 13 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar</i>	39
<i>Gambar 3. 14 Pengelompokan Agregat</i>	40
<i>Gambar 3. 15 Pemanasan Agregat</i>	41
<i>Gambar 3. 16 Pemindahan Agregat Ke Dalam Cetakan</i>	41
<i>Gambar 3. 17 Penumbukan Sampel</i>	42
<i>Gambar 3. 18 Pengujian Marshall</i>	43
<i>Gambar 3. 19 Pengujian Cantabro</i>	45
<i>Gambar 3. 20 Nano Silika</i>	46
<i>Gambar 4. 1 Pengujian VIM Konvensional</i>	67
<i>Gambar 4. 2 Pengujian VMA Konvensional</i>	68
<i>Gambar 4. 3 Pengujian Stabilitas Konvensional</i>	69
<i>Gambar 4. 4 Pengujian Flow Konvensional</i>	69
<i>Gambar 4. 5 Pengujian MQ Konvensional</i>	70
<i>Gambar 4. 6 Penentuan Kadar Aspal Optimum</i>	70
<i>Gambar 4. 7 Pengujian VIM Inovasi</i>	75
<i>Gambar 4. 8 Pengujian VMA Inovasi</i>	76
<i>Gambar 4. 9 Pengujian Stabilitas Inovasi</i>	77
<i>Gambar 4. 10 Pengujian Flow Inovasi</i>	78
<i>Gambar 4. 11 Pengujian MQ Inovasi</i>	79
<i>Gambar 4. 12 Pengujian Cantabro Loss</i>	81