

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* MATERIAL SISA PEMBAKARAN PLTU TANJUNG ENIM (PT.BUKIT ASAM) TERHADAP *FLEXIBLE PAVEMENT* LASTON AC-BC DENGAN VARIASI ASPAL KARET, ASPAL BUTON DAN ASPAL MINYAK



NYAYU SITTI FATIMAH

03011181722025

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2021

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* MATERIAL SISA PEMBAKARAN PLTU TANJUNG ENIM (PT.BUKIT ASAM) TERHADAP *FLEXIBLE PAVEMENT* LASTON AC-BC DENGAN VARIASI ASPAL KARET, ASPAL BUTON DAN ASPAL MINYAK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada Program Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



NYAYU SITTI FATIMAH

03011181722025

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN
PENGARUH *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* MATERIAL SISA
PEMBAKARAN PLTU TANJUNG ENIM (PT. BUKIT ASAM)
TERHADAP *FLEXIBLE PAVEMENT* LASTON AC-BC
DENGAN VARIASI ASPAL KARET, ASPAL BUTON DAN
ASPAL MINYAK
SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik

Oleh:
NYAYU SITTI FATIMAH
03011181722025

Dosen Pembimbing 1,


Mirka Pataras, S.T., M.T.
NIP. 198111202008121001

Indralaya, Juli 2021

Dosen Pembimbing II


Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T.
NIP. 197311032008121003

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,


Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312008122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT, karena atas segala rahmat, kasih sayang dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Pada proses penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan permohonan maaf yang besar kepada semua pihak yang terkait, yaitu kepada:

1. Ayah, Bunda dan Bude, Ibu Siti Khodijah dan Ibu Nurhana yang selalu memberikan dukungan baik dukungan secara moril dan materil, yang selalu senantiasa mendengar keluh kesah dalam menghadapi berbagai kesulitan dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas doa yang tiada hentinya untuk ayuk, dukungan, kasih sayang, motivasi dan nasihat untuk selalu semangat dalam meraih cita-cita.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Anis Saggaff, MSCE., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Mona Foralisa Toyfur, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Mirka Pataras, S.T., M.T. dan Dr. Edi Kadarsa, S.T, M.T., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, nasihat, motivasi, serta saran yang bermanfaat pada proses penyelesaian proposal Tugas Akhir ini.
7. Ibu Dr. Imroatul Chalimah Juliana, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing akademik.
8. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
9. Seluruh teman seperjuangan angkatan 2017 Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

10. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Penelitian Tugas Akhir ini.

Penulis berharap semoga pembuatan proposal ini memberikan manfaat dalam ilmu teknik sipil secara umum dan bidang perkerasan jalan secara khusus.

Palembang, 2021

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Tugas akhir ini dipersembahkan kepada ayah bunda dan bude serta keluarga yang selalu mendoakan dan mensupport ayuk.

Motto:

“Perlakukanlah orang tua mu seperti raja, maka rezeki mu pun akan seperti raja”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
RINGKASAN	xix
SUMMARY	xx
PERNYATAAN INTEGRITAS	xxi
HALAMAN PERSETUJUAN	xxii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xxiii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	xxiv
BERITA ACARA	xxv
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB 2	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Perkerasan Jalan	7

2.2.1.	Perkerasan Lentur	7
2.2.2.	Perkerasan Kaku	9
2.3.	Aspal	11
2.3.1.	Aspal Minyak	11
2.3.2.	Aspal Buton.....	12
2.3.3.	Aspal Karet.....	13
2.4.	Sifat-Sifat Aspal	13
2.5.	Agregat.....	14
2.6.	Profil PLTU Tanjung Enim.....	15
2.7.	Limbah	16
2.6.1.	Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	16
2.6.2.	Abu Dasar (<i>Bottom Ash</i>)	18
2.6.3.	Diagram Alir Proses Limbah <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> PLTU Tanjung Enim	19
2.8.	Campuran Aspal Panas	20
2.8.1.	Stone Matrix Asphalt (SMA)	20
2.8.2.	Lapis Aspal Beton (<i>Asphalt Concrete, AC</i>).....	20
2.8.3.	Lapis Tipis Aspal Beton (<i>Hot Rolled Sheet, HRS</i>).....	21
2.9.	Spesifikasi Campuran Aspal Panas	21
2.9.1.	Agregat Untuk Campuran Aspal Panas	21
2.9.2.	Aspal Untuk Campuran Panas.....	25
2.9.3.	Campuran Aspal Panas	25
2.10.	<i>Design Mix Formula (DMF)</i>	26
2.11.	<i>Job Mix Formula (JMF)</i>	27
2.12.	Pengujian <i>Marshall</i>	27
2.12.1.	<i>Void Filled with Asphalt (VFA)</i>	28

2.12.2.	<i>Void in Mixture (VIM)</i>	28
2.12.3.	<i>Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	28
2.12.4.	<i>Kelelehan (Flow)</i>	28
2.12.5.	<i>Stabilitas</i>	28
2.12.6.	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	29
BAB 3		30
3.1.	Umum	30
3.2.	Studi Literatur.....	31
3.3.	Persiapan Penelitian.....	31
3.3.1.	Persiapan Bahan	31
3.3.2.	Persiapan Alat	32
3.4.	Pengujian Laboratorium.....	36
3.4.1.	Pengujian Agregat	36
3.4.2.	Pengujian Aspal.....	40
3.4.3.	Pengujian <i>Filler</i>	45
3.5.	<i>Design Mix Formula (DMF)</i>	45
3.6.	<i>Job Mix Formula (JMF)</i>	46
3.7.	Pembuatan Benda Uji	46
3.8.	Pengujian <i>Marshall</i>	47
3.9.	Analisa Pengujian	47
3.10.	Kesimpulan dan Saran.....	48
BAB 4		49
4.1.	Hasil Pengujian Agregat	49
4.1.1.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	49
4.1.2.	Hasil Pengujian Agregat Halus	50
4.1.3.	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat.....	52

4.2.	Hasil Pengujian <i>Filler</i>	52
4.3.	Perbandingan Karakteristik Bahan Pengganti	53
4.4.	Hasil Pengujian XRF (<i>X-Ray Fluoresence</i>)	54
4.4.1.	Hasil Pengujian XRF Pasir	54
4.4.2.	Hasil Pengujian XRF <i>Bottom Ash</i>	55
4.4.3.	Hasil Pengujian XRF Semen	56
4.4.4.	Hasil Pengujian XRF <i>Fly Ash</i>	57
4.5.	Hasil Pengujian Aspal	58
4.6.	<i>Design Mix Formula</i>	61
4.7.	<i>Job Mix Formula</i>	63
4.7.1.	Campuran Standar	64
4.7.2.	Campuran <i>Bottom Ash</i> Menggantikan Pasir dan <i>Fly Ash</i> menggantikan Semen	68
4.8.	Pembuatan Benda Uji	73
4.9.	Pengujian <i>Marshall</i>	73
4.9.1.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran Standar	74
4.9.2.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran Laston AC-BC Limbah <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dengan variasi Aspal Minyak Pen 60/70	79
4.9.3.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran Laston AC-BC Limbah <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dengan variasi Aspal Buton	84
4.9.4.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran Laston AC-BC Limbah <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dengan variasi Aspal Karet	89
4.10.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap KAO	94
4.10.1.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap KAO Campuran Standar ...	94
4.10.2.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap KAO Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dengan Menggunakan Aspal Minyak (Penetrasi 60/70)	97

4.10.3.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap KAO Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dengan Menggunakan Aspal Buton	100
4.10.4.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap KAO Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> dengan Menggunakan Aspal Karet	103
4.11.	Pembahasan	105
BAB 5		110
5.1.	Kesimpulan	110
5.2.	Saran	112
DAFTAR PUSTAKA		114
LAMPIRAN 1		116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur Lapisan Perkerasan Lentur (Saodang, 2005).....	7
Gambar 2. 2. Distribusi Beban Pada Perkerasan Lentur (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).....	8
Gambar 2. 3. Struktur Lapisan Perkerasan Kaku (Saodang, 2005).....	9
Gambar 2. 4. Distribusi Beban Pada Perkerasan Kaku (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).....	10
Gambar 2. 5. Struktur Lapisan Pada Perkerasan Komposit (Sari, 2014).....	11
Gambar 2. 6. Aspal Karet dari PT. Sarana Lampung Utama	13
Gambar 2. 7. Posisi PT. Bukit Energi Servis Terpadu	16
Gambar 2. 8. Fly Ash Yang Berasal Dari PT. Bukit Energi Servis Terpadu.....	17
Gambar 2. 9. Bottom Ash Yang Berasal Dari PT. Bukit Energi Servis Terpadu .	18
Gambar 2. 10. Diagram Alir Proses Limbah Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Tanjung Enim	19
Gambar 2. 11. Alat Uji Marshall (utest.com).....	27
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3. 2. Peralatan Pengujian Agregat	33
Gambar 3. 3. Peralatan Pengujian Penetrasi	33
Gambar 3. 4. Peralatan Pengujian Titik Lembek	34
Gambar 3. 5. Peralatan Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.....	35
Gambar 3. 6. Peralatan Pengujian Berat Jenis.....	36
Gambar 4. 1. Grafik Komposisi Gradasi Campuran Standar.....	68
Gambar 4. 2. Grafik Komposisi Gradasi Campuran Pengganti	73
Gambar 4. 3. Grafik VMA Campuran Standar	75
Gambar 4. 4. Grafik VFA Campuran Standar.....	75
Gambar 4. 5. Grafik VIM Campuran Standar	76
Gambar 4. 6. Grafik Stabilitas Campuran Standar	76
Gambar 4. 7. Grafik Flow Campuran Standar.....	77
Gambar 4. 8. Grafik Marshall Quotient Campuran Standar	77
Gambar 4. 9. Kadar Aspal Optimum Campuran Standar Lapis AC-BC	78

Gambar 4. 10. Grafik VMA Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Minyak (Pen 60/70)	80
Gambar 4. 11. Grafik VFA Campuran Standar	80
Gambar 4. 12. Grafik VIM Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Minyak (Pen 60/70)	81
Gambar 4. 13. Grafik Stabilitas Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Minyak (Pen 60/70)	81
Gambar 4. 14. Grafik Flow Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Minyak (Pen 60/70)	82
Gambar 4. 15. Grafik Marshall Quotient Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Minyak (Pen 60/70)	82
Gambar 4. 16. Kadar Aspal Optimum Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Minyak (Pen 60/70)	83
Gambar 4. 17. Grafik VMA Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Buton	85
Gambar 4. 18. Grafik VFA Campuran Standar	85
Gambar 4. 19. Grafik VIM Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Buton	86
Gambar 4. 20. Grafik Stabilitas Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Buton	87
Gambar 4. 21. Grafik Flow Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Buton	87
Gambar 4. 22. Grafik Marshall Quotient Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Buton	88
Gambar 4. 23. Kadar Aspal Optimum Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Buton	89
Gambar 4. 24. Grafik VMA Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet	90
Gambar 4. 25. Grafik VFA Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet	91
Gambar 4. 26. Grafik VIM Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet	91

Gambar 4. 27. Grafik Stabilitas Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet.....	92
Gambar 4. 28. Grafik Flow Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet.....	93
Gambar 4. 29. Grafik Marshall Quotient Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet.....	93
Gambar 4. 30. Kadar Aspal Optimum Campuran Fly Ash Bottom Ash dengan Menggunakan Aspal Karet.....	94
Gambar 4. 31. Grafik nilai VMA Campuran Standar Terhadap KAO	95
Gambar 4. 32. Grafik nilai VFA Campuran Standar Terhadap KAO	95
Gambar 4. 33. Grafik nilai VIM Campuran Standar Terhadap KAO	95
Gambar 4. 34. Grafik nilai Stabilitas Campuran Standar Terhadap KAO.....	96
Gambar 4. 35. Grafik nilai Flow Campuran Standar Terhadap KAO	96
Gambar 4. 36. Grafik nilai Marshall Quotient Campuran Standar Terhadap KAO	96
Gambar 4. 37. Grafik nilai VMA Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO.....	97
Gambar 4. 38. Grafik nilai VFA Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO.....	98
Gambar 4. 39. Grafik nilai VIM Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO.....	98
Gambar 4. 40. Grafik nilai Stabilitas Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO.....	99
Gambar 4. 41. Grafik nilai Flow Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO.....	99
Gambar 4. 42. Grafik nilai Marshall Quotient Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO.....	100
Gambar 4. 43. Grafik Nilai VMA Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO	101
Gambar 4. 44. Grafik Nilai VFA Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO	101

Gambar 4. 45. Grafik Nilai VIM Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO	101
Gambar 4. 46. Grafik Nilai Stabilitas Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO	101
Gambar 4. 47. Grafik Nilai Flow Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO	102
Gambar 4. 48. Grafik Nilai Marshall Quotient Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO	102
Gambar 4. 49. Grafik Nilai VMA Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO	103
Gambar 4. 50. Grafik Nilai VFA Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO	103
Gambar 4. 51. Grafik Nilai VIM Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO	104
Gambar 4. 52. Grafik Nilai Stabilitas Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO	104
Gambar 4. 53. Grafik Nilai Flow Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO	104
Gambar 4. 54. Grafik Nilai Marshall Quotient Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO	105
Gambar 4. 55. Grafik Perbandingan KAO Pada Campuran	106
Gambar 4. 56. Grafik Perbandingan Nilai VMA Pada Campuran	107
Gambar 4. 57. Grafik Perbandingan Nilai VFA Pada Campuran	107
Gambar 4. 58. Grafik Perbandingan Nilai VIM Pada Campuran.....	108
Gambar 4. 59. Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Pada Campuran.....	108
Gambar 4. 60. Grafik Perbandingan Nilai Flow Pada Campuran	109
Gambar 4. 61. Grafik Perbandingan Nilai Marshall Quotient Pada Campuran ..	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal.....	20
Tabel 2. 2. Ketentuan Agregat Kasar.....	22
Tabel 2. 3. Ketentuan Agregat Halus.....	23
Tabel 2. 4. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	24
Tabel 2. 5. Ketentuan Untuk Aspal Keras.....	25
Tabel 2. 6. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC).....	26
Tabel 3. 1. Jumlah Sampel Benda Uji Laston AC-BC.....	46
Tabel 4. 1. Hasil Pemeriksaan Batu Pecah 1-2.....	49
Tabel 4. 2. Hasil Pemeriksaan Batu Pecah 1-1.....	50
Tabel 4. 3. Hasil Pemeriksaan Abu Batu	50
Tabel 4. 4. Hasil Pemeriksaan Pasir	51
Tabel 4. 5. Hasil Pemeriksaan Bottom Ash	51
Tabel 4. 6. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat	52
Tabel 4. 7. Hasil Pengujian Semen.....	53
Tabel 4. 8. Hasil Pengujian Fly Ash	53
Tabel 4. 9. Perbandingan Karakteristik Pasir dan Bottom Ash.....	53
Tabel 4. 10. Perbandingan Karakteristik Semen dan Fly Ash	54
Tabel 4. 11. Hasil Pengujian XRF Pasir (Laboratorium Terpadu UNDIP)	54
Tabel 4. 12. Hasil Pengujian Bottom Ash (Laboratorium Terpadu UNDIP).....	55
Tabel 4. 13. Hasil Pengujian Bottom Ash (PT. Succopindo).....	56
Tabel 4. 14. Hasil Pengujian XRF Semen (Laboratorium Terpadu UNDIP)	56
Tabel 4. 15. Hasil Pengujian Fly Ash (Laboratorium Terpadu UNDIP).....	57
Tabel 4. 16. Hasil Pengujian XRF Fly Ash (PT. Succopindo).....	57
Tabel 4. 17. Hasil Pengujian Aspal Minyak (Penetrasi 60/70)	58
Tabel 4. 18. Hasil Pengujian Aspal Buton	59
Tabel 4. 19. Hasil Pengujian Aspal Karet.....	59
Tabel 4. 20. Rekapitulasi Hasil Pengujian Ketiga Aspal	60
Tabel 4. 21. Gradasi Persen Lolos Agregat dengan Metode Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.....	61
Tabel 4. 22. Rencana Pembuatan Benda Uji.....	63

Tabel 4. 23. Tabel Gradasi Asli Campuran Standar Lapisan AC-BC	64
Tabel 4. 24. Komposisi Gradasi Lolos Saringan Campuran Standar yang dipakai untuk perhitungan matriks Gauss Jordan.....	64
Tabel 4. 25. Hasil Perhitungan dengan Metode Eliminasi Gauss Jordan Campuran Standar	65
Tabel 4. 26. Komposisi Gradasi Campuran AC-BC Campuran Standar.....	67
Tabel 4. 27. Tabel Gradasi Asli Campuran Pengganti Lapisan AC-BC.....	68
Tabel 4. 28. Komposisi Gradasi Lolos Saringan Campuran Pengganti yang dipakai untuk perhitungan matriks Gauss Jordan.....	70
Tabel 4. 29. Hasil Perhitungan dengan Metode Eliminasi Gauss Jordan Campuran Pengganti.....	71
Tabel 4. 30. Komposisi Gradasi Campuran AC-BC Campuran Pengganti	72
Tabel 4. 31. Hasil Pengujian Marshall Campuran Standar	74
Tabel 4. 32. Hasil Pengujian Marshall Campuran Laston AC-BC Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dengan variasi Aspal Minyak Pen 60/70.	79
Tabel 4. 33. Hasil Pengujian Marshall Campuran Laston AC-BC Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dengan variasi Aspal Buton	84
Tabel 4. 34. Hasil Pengujian Marshall Campuran Laston AC-BC Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dengan variasi Aspal Karet	89
Tabel 4. 35. Hasil Pengujian Nilai Parameter Marshall Terhadap Campuran Standar Terhadap KAO.....	97
Tabel 4. 36. Hasil Pengujian Nilai Parameter Marshall Terhadap Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Minyak Terhadap KAO	100
Tabel 4. 37. Hasil Pengujian Nilai Parameter Marshall Terhadap Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Buton Terhadap KAO.....	102
Tabel 4. 38. Hasil Pengujian Nilai Parameter Marshall Terhadap Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Menggunakan Aspal Karet Terhadap KAO.....	105
Tabel 4. 39. Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai Parameter Marshall Terhadap Nilai KAO	105

DAFTAR LAMPIRAN

Penjabaran Perhitungan Matriks (<i>Gauss Jordan</i>).....	112
Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus.....	139
Hasil Pengujian Aspal.....	154
Hasil Pengujian <i>X-Ray Fluoresence</i>	172
Dokumentasi Penelitian.....	180

RINGKASAN

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* MATERIAL SISA PEMBAKARAN PLTU TANJUNG ENIM (PT. BUKIT ASAM) TERHADAP *FLEXIBLE PAVEMENT* LASTON AC-BC DENGAN VARIASI ASPAL KARET, ASPAL BUTON DAN ASPAL MINYAK

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir, Juli 2021

Nyayu Sitti Fatimah ; Dibimbing oleh Mirka Pataras S.T., M.T. dan Dr. Edi Kadarsa S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxv + 112 halaman, 78 gambar, 46 tabel, 4 lampiran

Produksi limbah dari industri PLTU dari tahun ke tahun semakin meningkat maka dalam upaya pemanfaatan limbah digunakan tambahan material *fly ash* dan *bottom ash*. Limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini berasal PT. Bukit Asam dengan anak perusahaannya yaitu PT. Bukit Energi Servis Terpadu untuk mengelola PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) yang terletak di Banko Barat Lingga, Lawang Kidul, Muara Enim, Sumatera Selatan. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya yang hanya menguji dengan menggunakan *fly ash* atau *bottom ash* saja sedangkan pada penelitian ini *fly ash* dan *bottom ash* tersebut divariasikan dengan ketiga jenis aspal yaitu berupa aspal minyak (penetrasi 60/70), aspal buton dan aspal karet karena seperti yang diketahui bahwa Provinsi Sumatera Selatan merupakan salah satu penghasil karet terbesar di Indonesia maka dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan ekonomi masyarakat selain aspal karet digunakan juga aspal buton yang merupakan aspal alam yang terdiri dari campuran bitumen, batu kapur pasir dan bahan mineral lainnya untuk digunakan sebagai pengganti campuran aspal minyak yang dapat digunakan pada perkerasan jalan. Pada penelitian ini penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* menggantikan semen dan agregat halus (pasir) sebesar 100%. Secara ringkas campuran laston AC-BC limbah *fly ash* dan *bottom ash* dengan menggunakan variasi aspal karet memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan ketiga campuran lainnya dikarenakan campuran ini memiliki nilai VFA yang lebih besar maka rongga terisi aspal pada campuran juga semakin besar dan rongga yang terisi aspal semakin banyak selain itu pada campuran ini juga memiliki nilai stabilitas yang besar dibandingkan dengan campuran yang lainnya sehingga campuran tersebut semakin mampu menahan beban diatasnya.

Kata Kunci : Campuran beraspal panas, *hot mix asphalt*, *fly ash*, *bottom ash*, aspal minyak, aspal buton, aspal karet, *Marshall Test*

SUMMARY

THE EFFECT OF USING FLY ASH AND BOTTOM ASH AS RESISTANT MATERIALS OF COAL COMBUSTION FROM TANJUNG ENIM ELECTRIC STEAM POWER PLANT (PT. BUKIT ASAM) ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE IN FLEXIBLE PAVEMENT WITH VARIATIONS OF RUBBERIZED ASPHALT, BUTON ASPHALT AND REFINERY ASPHALT

Scientific paper in the form of Final Project, July 2021

Nyayu Sitti Fatimah ; Supervised by Mirka Pataras S.T., M.T. and Dr. Edi Kadarsa S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xxv + 112 pages, 79 pictures, 45 tables, 4 attachments

The production of wastes from the power plant industry is increasing from year to year, so in an effort to utilize waste, fly ash and bottom ash are used. To reduce unwanted impacts, including impacts that can impede human health, that's why this research carried out using additional fly ash and bottom ash materials from PT. Bukit Asam with its subsidiary, namely PT. Bukit Energi Servis Terpadu (PT. BEST) to manage the Tanjung Enim Power Plant (PT. Bukit Asam) which is located in Banko Barat Lingga, Lawang Kidul, Muara Enim, South Sumatra. This research was conducted to develop previous research which only tested using fly ash or bottom ash, while in this research fly ash and bottom ash were varied with three types of asphalt, there are refinery asphalt, buton asphalt and rubberized asphalt. As we known South Sumatra Province is one of major rubber producing countries in Indonesia so it can boost local economies. Besides rubberized asphalt, Buton asphalt is also used, Buton asphalt is natural asphalt consisting of a mixture of bitumen, limestone sand and other mineral materials to be used as a substitute refinery asphalt that can be used in road pavement. In this research, the use of fly ash and bottom ash replaces the filler and fine aggregate (sand) by 100%. In summary, AC-BC mixture using fly ash and bottom ash with variation of rubberized asphalt gives better results than the other mixtures because this mixture has a higher VFA value, the voids filled with asphalt in the mixtur are also larger and the cavities filled. Besides that, this mixture also has a large stability value compared to the other mixtures, which has stability high to withstand load during service.

Keywords : Hot mix asphalt, fly ash, bottom ash, refinery asphalt, rubberized asphalt, Buton asphalt, Marshall Test

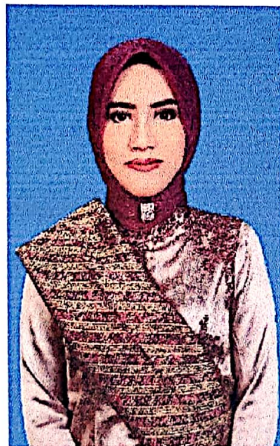
PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nyayu Sitti Fatimah
NIM : 03011181722025
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Material
Sisa Pembakaran PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam)
Terhadap *Flexible Pavement* Laston AC-BC dengan
Variasi Aspal Karet, Aspal Buton dan Aspal Minyak

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Nyayu Sitti Fatimah

NIM 03011181722025

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Material Sisa Pembakaran PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) Terhadap *Flexible Pavement* Laston AC-BC dengan Variasi Aspal Karet, Aspal Buton dan Aspal Minyak” yang disusun oleh Nyayu Sitti Fatimah, NIM 03011181722025 telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 30 Juni 2021.

Palembang, Juli 2021

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir,

Ketua :

1. Mirka Pataras, S.T., M.T.
NIP. 198111202008121001
2. Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T.
NIP. 197311032008121003

()

()

Anggota:

3. Aztri Yuli Kurnia, S.T., M.Eng.
NIP. 198807132012122003

()

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Prof. Dr. Eng. Ir.. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nyayu Sitti Fatimah
NIM : 03011181722025
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash*
Material Sisa Pembakaran PLTU Tanjung Enim (PT.
Bukit Asam) Terhadap *Flexible Pavement* Laston AC-
BC dengan Variasi Aspal Karet, Aspal Buton dan
Aspal Minyak

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding authors*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Juli 2021



Nyayu Sitti Fatimah
NIM. 03011181722025

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Nyayu Sitti Fatimah
Tempat, Tanggal Lahir : Pagaram, 29 November 1999
Jenis Kelamin : Perempuan
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Warga Negara : Indonesia
Alamat Rumah : Perumnas Nendagung Jalan Terkuku Blok A No.
86, Kelurahan Nendagung, RT 008 RW 004,
Kecamatan Pagaram Selatan, Kota Pagaram
Nama Ayah : Kgs. Awaludin R (Alm)
Nama Ibu : Siti Khodijah
Nomor HP : 085368289863
E-mail : nyayusittifatimah@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

Institusi Pendidikan	Fakultas	Jurusan	Masa
RA Al-Azhar Pagaram Alam	-	-	2004-2005
MI Al-Azhar Pagaram Alam	-	-	2005-2011
SMP Negeri 2 Pagaram Alam	-	-	2011-2014
SMA Negeri 1 Pagaram Alam	-	IPA	2014-2017
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	2017-2021

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Indralaya, Juli 2021



Nyayu Sitti Fatimah

NIM. 03011181722025



JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

HASIL SEMINAR SIDANG SARJANA/UJIAN TUGAS AKHIR

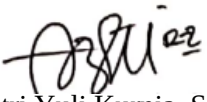
Tanggal 30 Juni 2021 (Metode Daring)

Nama Mahasiswa : **Nyayu Sitti Fatimah**
N I M : 03011181722025
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Material Sisa Pembakaran PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) Terhadap *Flexible Pavement* Laston AC-BC dengan Variasi Aspal Karet, Aspal Buton dan Aspal Minyak.

Dosen Pembimbing I : Mirka Pataras, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T.

TANGGAPAN / SARAN

Dosen Penguji : Aztri Yuli Kurnia, S.T., M.Eng.

No.	Review Dosen Penguji	Ringkasan Perbaikan Dokumen
1.	Memperbaiki tulisan pada judul yang menggunakan bahasa Inggris dengan menggunakan tulisan tipe <i>Italic</i> .	Tulisan pada judul telah diperbaiki.
2.	Menambahkan penjelasan spesifik mengenai penjelasan ketiga jenis aspal yaitu berupa aspal minyak, aspal buton dan aspal karet.	Telah ditambahkan penjelasan mengenai penjelasan ketiga jenis aspal berupa aspal minyak pada halaman 11, penjelasan mengenai aspal buton pada halaman 12 serta penjelasan mengenai aspal karet pada halaman 13.
3.	Menambahkan penjabaran perhitungan <i>Job Mix Formula</i> yang digunakan dalam penelitian.	Telah ditambahkan penjabaran perhitungan <i>Job Mix Formula</i> pada lampiran dari halaman 119 sampai dengan halaman 140.
Mengetahui,		Palembang, Juli 2021
Sekretaris Jurusan, 07/25/2021  Dr. Mona Foralisa Toyfur, S.T., M.T. NIP. 197404071999032001		Dosen Pembimbing ,  Mirka Pataras, S.T., M.T. NIP. 198111202008121001
		Dosen Penguji,  Aztri Yuli Kurnia, S.T., M.T. NIP. 198807132012122003

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan adalah suatu konstruksi jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas di atas dasar jalan yang berfungsi untuk memberikan permukaan jalan yang rata pada jalan pada saat dilintasi oleh pengendara serta berfungsi juga untuk mendistribusikan beban pada kendaraan. Lapisan perkerasan jalan dibagi menjadi dua berdasarkan bahan ikatnya yaitu lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan lapisan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan jenis perkerasan yang menjadikan aspal sebagai bahan pengikatnya sedangkan perkerasan kaku (*rigid pavement*) merupakan jenis perkerasan yang menjadikan semen sebagai bahan pengikatnya. Pada umumnya pada perkerasan lentur bagian-bagian dari lapisan perkerasannya terdiri dari tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*) dan lapisan permukaan (*surface course*).

Produksi limbah dari industri PLTU dari tahun ke tahun semakin meningkat maka dalam upaya pemanfaatan limbah digunakan tambahan material *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batu bara sedangkan *bottom ash* adalah gas buangan yang merupakan abu yang jatuh ke dasar *boiler* (Indriyati et al., 2019). Limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan pada penelitian ini berasal PT. Bukit Asam dengan anak perusahaannya yaitu PT. Bukit Energi Servis Terpadu untuk mengelola PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) yang terletak di Banko Barat Lingga, Lawang Kidul, Muara Enim, Sumatera Selatan.

Bahan aspal yang digunakan pada campuran aspal ini menggunakan tiga variasi aspal yaitu berupa aspal karet, aspal buton dan aspal minyak. Penggunaan ketiga variasi aspal ini adalah untuk membandingkan manakah jenis aspal yang baik pada campuran *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti dari *filler* dan agregat halus. Penggunaan aspal karet digunakan untuk perkerasan jalan, selain itu dikarenakan Provinsi Sumatera Selatan merupakan

salah satu penghasil karet terbesar di Indonesia maka dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan ekonomi masyarakat selain aspal karet digunakan juga aspal buton yang merupakan aspal alam yang terdiri dari campuran bitumen, batu kapur pasir dan bahan mineral lainnya untuk digunakan sebagai pengganti campuran aspal minyak yang dapat digunakan pada perekerasan jalan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya yang hanya menguji dengan menggunakan *fly ash* atau *bottom ash* saja sedangkan pada penelitian ini *fly ash* dan *bottom ash* tersebut divariasikan dengan ketiga jenis aspal yaitu berupa aspal minyak (penetrasi 60/70), aspal buton dan aspal karet. Selain itu latar belakang dari penelitian ini adalah untuk mengurangi dampak yang tidak diinginkan, termasuk dampak yang dapat mengganggu kesehatan maka dilakukanlah penelitian dengan menggunakan tambahan material *fly ash* dan *bottom ash* selain itu dengan judul “Pengaruh Penggunaan Fly Ash Dan Bottom Ash Material Sisa Pembakaran PLTU Tanjung Enim (PT.Bukit Asam) Terhadap Flexible Pavement Laston AC-BC dengan Variasi Aspal Karet, Aspal Buton dan Aspal Minyak”.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini berdasarkan dari latar belakang penelitian yang telah dibahas adalah sebagai berikut:

1. Apakah limbah batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) sebagai pengganti bahan pengisi (*filler*) dan pengganti agregat halus (pasir) berupa *bottom ash* sudah memenuhi standar dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2?
2. Bagaimana karakteristik *Marshall* pada campuran Laston AC-BC dengan menggunakan material pengganti bahan pengisi (*filler*) berupa *fly ash* dan material pengganti agregat halus (pasir) berupa *bottom ash* yang dicampur dengan bahan pengikat berupa tiga variasi aspal yaitu aspal karet, aspal buton dan aspal minyak?
3. Bagaimana perbandingan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran Laston AC-BC dengan menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* dengan tiga

jenis variasi aspal berupa aspal karet, aspal buton dan aspal minyak sebagai bahan pengikat?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini berdasarkan dari rumusan masalah yang telah diuraikan diatas adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa apakah limbah batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) sebagai pengganti bahan pengisi (*filler*) dan pengganti agregat halus (pasir) sudah memenuhi standar dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2
2. Untuk menganalisa karakteristik *Marshall* pada campuran Laston AC-BC dengan menggunakan material pengganti bahan pengisi (*filler*) berupa *fly ash* dan material pengganti agregat halus (pasir) berupa *bottom ash* yang dicampur dengan bahan pengikat berupa tiga variasi aspal yaitu aspal karet, aspal buton dan aspal minyak.
3. Untuk menganalisa perbandingan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dan nilai optimum *marshall* campuran Laston AC-BC dengan menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* dengan tiga jenis variasi aspal berupa aspal karet, aspal buton dan aspal minyak sebagai bahan pengikat.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian tentang Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Dan *Bottom Ash* Material Sisa Pembakaran PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) Terhadap *Flexible Pavement* Laston AC-BC dengan Variasi Aspal Karet, Aspal Buton dan Aspal Minyak adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Sriwijaya (agregat) dan Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Selatan (aspal).

2. Menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6.3 tentang Campuran Aspal Panas (*Hot Mix Asphalt*) yang dijadikan panduan dalam proses pengujian dan spesifikasi dari material yang digunakan.
3. Bahan pengganti dari bahan pengisi (*filler*) berupa *fly ash* dan bahan pengganti agregat halus (pasir) berupa *bottom ash* yang berasal dari PT. Bukit Energi Servis Terpadu yang mengelola PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam).
4. Menggunakan tiga jenis variasi bahan pengikat berupa aspal karet, aspal buton dan aspal minyak berupa aspal penetrasi 60/70.
5. Menggunakan metode numerik dengan menggunakan metode eliminasi *Gauss Jordan* dalam menentukan *Job Mix Formula* atau komposisi agregat dalam campuran aspal.
6. Pengujian campuran adalah pengujian *Marshall*.

1.5. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan proposal Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini, pembahasan mencakup latar belakang digunakannya material *fly ash* dan *bottom ash* yang berasal dari PLTU Tanjung Enim (PT. Bukit Asam) yang terletak di Banko Barat Lingga, Lawang Kidul, Muara Enim, Sumatera Selatan sebagai bahan tambah pada penelitian, rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian, tujuan dilakukannya penelitian, ruang lingkup yang dibahas dalam penelitian serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan laporan dari penelitian yang akan dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai landasan teori mengenai topik yang akan dilakukan dalam penelitian ini yang dijadikan sebagai landasan dalam penelitian, didalamnya terdapat berbagai macam informasi

berupa konstruksi dari perkerasan jalan, material yang digunakan sebagai penyusun perkerasan jalan, kriteria campuran aspal panas (*hot mix asphalt*), pengujian agregat, pengujian aspal dan pengujian limbah batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metode penelitian, urutan rencana penelitian melalui diagram alur penelitian, material dan alat-alat yang digunakan, pengujian material di laboratorium, perencanaan campuran, pembuatan sampel, pengujian dengan menggunakan metode *Marshall*, analisa pengujian serta kesimpulan dan saran.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil yang telah didapat dari pengujian yang telah dilakukan yang berisikan hasil pengujian aspal, agregat, *filler* serta hasil pengujian *Marshall*.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian apakah hasil yang didapat dari penelitian ini efektif atau tidak beserta saran yang dapat diberikan untuk perkembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga, D. P. U. D. J. (2010). *SPESIFIKASI UMUM 2010 (Revisi 3)* (Vol. 2010, Issue Revisi 3).
- Bina Marga, D. P. U. D. J. (2018). *Spesifikasi Umum 2018. Revisi 2*.
- Bolung, A. L., Sendow, T. K., & Waani, J. E. (2019). Perbandingan Kriteria Marshall Pada Campuran Aspal Panas (Hrs-Wc) Yang Menggunakan Asbuton Modifikasi (Retona Blend 55) Dengan Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1537–1546.
- Indriyati, T. S., Malik, A., & Alwinda, Y. (2019). Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah Faba (Fly Ash Dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), 112–119.
<https://doi.org/10.31849/teknik.v13i2.3168>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Diklat Perkerasan Kaku. *Konsep Dasar Dan Konstruksi Perkerasan Kaku*.
- Khairani, C., Saleh, S. M., & Sugiarto, S. (2018). Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 559–570.
<https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.9995>
- Kurnisari, P. T. (2017). *Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolymer*.
- Mashuri. (2010). Karakteristik aspal sebagai bahan pengikat yang ditambahkan styrofoam. *SMARTek*, 8(1), 1–12.
- Nuryati, S. (2015). Analisis Tebal Lapis Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 1987 Dan Aashto 1986. *Bentang*, 3(1), 262544.
- Permana, I. G. B. M. (2015). Analisis Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Campuran Aspal Dingin Bergradaasi terbuka dengan Menggunakan Aspal Emulsi Jenis Kationik (Studi Kasus Material RAP dari Jalan Ir. Soekarno Tabanan). *Tesis Rc - 142501, tesis*.
- Santoso, I., Roy, S. K., & Patrick, A. (2003). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Dimensi Teknik Sipil*, 5, 75–81.

- Saodang, H. (2005). *Konstruksi Jalan Raya*.
- Sari, D. N. (2014). Analisa Beban Kendaraan Terhadap Derajat Kerusakan Jalan Dan Umur Sisa. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(4), 615–620.
- Setiawan, A., & Rahman, R. (2011). STUDI PENGGUNAAN ASBUTON BUTIR PADA CAMPURAN BETON ASPAL BINDER COURSE (AC - BC). *Rekayasa Dan Manajemen Transportasi*, 1, 99–118.
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 17, 1–8.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>
- Sugeha, A. L. R., Sulandari, E., & Suyono, R. S. (2010). *Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara*. 1–11.
- Sumajouw, M. D. ., & Windah, R. S. (2014). Pengaruh pemanfaatan abu terbang (fly ash) dari pltu ii sulawesi utara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 2(7), 352–358.