

Universitas Katolik Santo Thomas

Repositori Unika Santo Thomas

<http://eprints.ust.ac.id>

---

Fakultas Teknik (FT)  
Program Studi Teknik Sipil

Undergraduate Papers

---

Nainggolan, Prengki

2025

# Analisis Pemanfaatan Butiran Kaca Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Karakteristik Uji *Marshall*

---

<http://eprints.ust.ac.id/id/eprint/702>

*Downloaded from Repositori Institusi UST, Universitas Katolik Santo Thomas*

**ANALISIS PEMANFAATAN BUTIRAN KACA SEBAGAI PENGANTI  
AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN LASTON AC-WC TERHADAP  
KARAKTERISTIK UJI MARSHALL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil  
(Transportasi)**

**Disusun Oleh:**

**PRENGKINAINGGOLAN**

**180310043**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SANTO THOMAS  
MEDAN  
2025**

**ANALISIS PEMANFAATAN BUTIRAN KACA SEBAGAI  
PENGANTI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN  
LASTON AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK UJI  
*MARSHALL***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dalam memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil  
(Transportasi)**

**Disusun Oleh :**

**PRENGKI NAINGGOLAN**

**180310043**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SANTO THOMAS**

**MEDAN**

**2025**

**ANALISIS PEMANFAATAN BUTIRAN KACA SEBAGAI  
PENGANTI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN  
LASTON AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK UJI  
MARSHALL**

**Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dalam memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil**

**(Transportasi)**

**Disusun Oleh :**

**PRENGKI NAINGGOLAN**

**180310043**

**Seminar Proposal : 05 Juli 2024**

**Seminar Isi : 11 April 2025**

**Sidang Meja Hijau : 13 Juni 2025**

**DISETUJUI OLEH:**

**(Ir. Oloan Sitohang, M.T.)**

**Pembimbing**

**DISAHKAN OLEH:**

**(Ir. Charles Sitindaon, M.T.)**

**Koordinator Tugas Akhir**

**(Ir. Samudra Batubara, M.T.)**

**Ketua Program Studi**

**(Ir. Oloan Sitohang, M.T.)**

**Dekan Fakultas Teknik**

**ANALISIS PEMANFAATAN BUTIRAN KACA SEBAGAI  
PENGANTI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN  
LASTON AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK UJI  
MARSHALL**

**Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dalam memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil**

**(Transportasi)**

**Disusun Oleh :**

**PRENGKI NAINGGOLAN**

**180310043**

**Seminar Proposal : 05 Juli 2024**

**Seminar Isi : 11 April 2025**

**Sidang Meja Hijau : 13 Juni 2025**

**DISAHKAN OLEH**

**(Ir. Oloan Sitohang, M.T.)**

**Penguji I**

**(Ir. Charles Sitindaon, M.T.)**

**Penguji II**

**(Rina Firlia Sari, S.T, M.T.)**

**Penguji III**



## ABSTRAK

Limbah kaca merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang semakin mendapatkan perhatian di berbagai belahan dunia. Kaca, yang unsur utamanya adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), memiliki karakteristik kemurnian dan kekerasan tinggi, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif dalam material konstruksi. Kaca bekas, seperti botol minuman yang umum dijumpai di warung atau toko, sering kali dibuang begitu saja dan menumpuk di lingkungan. Akumulasi limbah kaca yang tidak terkelola dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kaca sebagai material konstruksi, khususnya dalam campuran aspal, merupakan solusi inovatif dan ramah lingkungan yang layak untuk dikembangkan.

Penelitian ini dilakukan pertama dengan pengujian sifat material yang terdiri dari pengujian agregat dan aspal. Dalam penelitian ini, variasi penambahan butiran kaca sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat total agregat halus yang diuji. Kemudian menentukan kadar aspal optimum yang akan digunakan. Parameter yang diukur meliputi Void In The Mix (VIM), Void In Mineral Agreggate (VMA), Void Filled With Asphalt (VFA), Stabilitas, Kelelehan (Flow) dan Marshall Quotient (MQ).

Melalui uji *marshall* yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 didapat kadar aspal optimum sebesar 6,5% dengan nilai stabilitas 2587,366 kg dan nilai flow sebesar 2,5 mm. Maka dengan pengganti agregat halus menggunakan butiran kaca didapat bahwasanya nilai stabilitas semakin menurun dari nilai pada variasi pengganti agregat sebanyak 10% nilai stabilitasnya sebesar 2404,556 kg hingga untuk variasi pengganti agregat sebanyak 50% nilai stabilitasnya sebesar 1723,543 kg. Sementara untuk nilai flow semakin lama direndam maka nilainya semakin meningkat. Dapat dilihat pada kadar 40% diwaktu perendaman 9 jam nilai flow nya 4 mm dan di kadar 25% dengan waktu perendaman 12 jam nilai flownya 4 mm. Dari nilai stabilitas yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018, variasi pengganti agregat halus dari 10% sampai 50% memenuhi namun dari nilai VIM kadar pengganti 40% dan 50% tidak memenuhi karena melebihi batas maximum yaitu 5.

Kata Kunci: Aspal, Karakteristik Marshall, butiran kaca.

## ABSTRACT

*Glass waste is one of the environmental problems that is increasingly getting attention in various parts of the world. Glass, whose main element is silica ( $\text{SiO}_2$ ), has the characteristics of high purity and hardness, so it has the potential to be used as an alternative material in construction materials. Used glass, such as beverage bottles commonly found in stalls or shops, is often thrown away and piles up in the environment. The accumulation of glass waste that is not managed properly can have a negative impact on the environment. Therefore, the use of glass waste as a construction material, especially in asphalt mixtures, is an innovative and environmentally friendly solution that is worthy of being developed.*

*This study was conducted first by testing the material properties consisting of aggregate and asphalt testing. In this study, variations in the addition of glass granules of 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of the total weight of the fine aggregate tested. Then determine the optimum asphalt content to be used. The parameters measured include Void In The Mix (VIM), Void In Mineral Aggregate (VMA), Void Filled With Asphalt (VFA), Stability, Meltability (Flow) and Marshall Quotient (MQ).*

*Through the marshall test referring to the 2018 General Bina Marga Specifications, the optimum asphalt content was obtained at 6.5% with a stability value of 2587.366 kg and a flow value of 2.5 mm. So with the replacement of fine aggregate using glass granules, it was found that the stability value decreased from the value in the variation of aggregate replacement of 10%, the stability value was 2404.556 kg to the variation of aggregate replacement of 50%, the stability value was 1723.543 kg. Meanwhile, for the flow value, the longer it is soaked, the value increases. It can be seen at a content of 40% at a soaking time of 9 hours, the flow value is 4 mm and at a content of 25% with a soaking time of 12 hours, the flow value is 4 mm. From the stability value referring to the 2018 Bina Marga Specifications, the variation of fine aggregate replacement from 10% to 50% meets the requirements, but from the VIM value, the replacement content of 40% and 50% does not meet the requirements because it exceeds the maximum limit of 5.*

*Keywords: Asphalt, Marshall Characteristics, glass beads.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul " Analisis Pemanfaatan Butiran Kaca Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Karakteristik Uji *Marshall* ". Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi persyaratan dalam menempuh Sarjana Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas, Medan.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Oloan Sitohang, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak bimbingan dan arahan dalam membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Samsuardi Batubara, S.T, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas, Medan
3. Bapak Ir. Charles Sitindaon, MT. Selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas, Medan Sekaligus Sebagai Dosen Pembimbing.
4. Bapak Reynaldo Siahaan, ST,M.Eng Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik.
5. Ibu Rina Firlia Sari, S.T,M.T Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
6. Seluruh Staf Pengajar dan Pegawai Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas Medan.
7. Orang Tua yang selalu mendoakan Saya dan Keluarga yang mendukung agar dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
8. Teman-teman angkatan 2018 Program Studi Teknik Sipil, yang telah berjuang bersama-sama menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Santo Thomas. Semoga Tugas Akhir ini menjadi awal bagi penulis untuk menjadi pembelajaran nantinya dan dapat bermanfaat bagi kita semua terutama dalam bidang teknik sipil.



9. Saudara yang turut membantu penelitian ini Elvi Sari Veronica Purba, Wilfri Aldi Siallagan, Vungki Yanniarti Nadeak, Riwantono Marbun, Rahul Lumbanraja, Rolan Bertoani Purba dan Andrianto Sihotang.
10. Abang kakak kelas dan Adik-adik kelas serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas, Medan.
11. Kepada PT. Adhi Karya, Patumbak, yang telah menyediakan material untuk penelitian serta banyak membantu di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
12. Serta pihak-pihak lain yang turut serta membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini yang tidak bisa satu persatu disebutkan namanya.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu melimpahkan Karunia-Nya kepada semua pihak yang telah banyak memberikan saran sehingga penyusunan Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Medan, Juli 2025

Penulis

Prengki Nainggolan

## DAFTAR ISI

|                                                                                        |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                                   | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                  | <b>ii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                             | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                                 | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                              | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR GRAFIK .....</b>                                                             | <b>ix</b>   |
| <b>NOTASI .....</b>                                                                    | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                          | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                                                | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                                               | 1           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                                             | 2           |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....                                                     | 2           |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                                                        | 3           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                                    | <b>4</b>    |
| 2.1 Agregat .....                                                                      | 4           |
| 2.1.1 Jenis-Jenis Agregat .....                                                        | 4           |
| 2.1.2 Sifat Agregat.....                                                               | 5           |
| 2.1.3 Ukuran Agregat .....                                                             | 5           |
| 2.1.4 Gradasi.....                                                                     | 6           |
| 2.1.5 Berat Jenis ( <i>Sfpecific Gravity</i> ) dan Penyerapan ( <i>Absorpsi</i> )..... | 10          |
| 2.1.6 Berat Isi .....                                                                  | 12          |
| 2.2 Aspal.....                                                                         | 13          |
| 2.2.1 Jenis-jenis Aspal .....                                                          | 13          |
| 2.2.2 Pengujian Terhadap Aspal.....                                                    | 15          |
| 2.3 Campuran Beraspal.....                                                             | 17          |
| 2.4 Bahan Pengganti .....                                                              | 18          |
| 2.4.1 Unsur-Unsur Pembentuk Kaca .....                                                 | 19          |
| 2.4.2 Sifat Fisik dan Kimia yang Penting dari Kaca .....                               | 19          |

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.3 Bahan Baku Kaca .....                                                                                                 | 20        |
| 2.5 Parameter Marshall Test .....                                                                                           | 21        |
| 2.5.1 KEPADATAN (Bulk DENSITY) .....                                                                                        | 21        |
| 2.5.2 VIM (Vold In Mix) .....                                                                                               | 22        |
| 2.5.3 Kelelehan (Flow) .....                                                                                                | 22        |
| 2.5.4 VFA (Vold Filled With Asphalt) .....                                                                                  | 22        |
| 2.5.5 Stabilitas .....                                                                                                      | 22        |
| 2.5.6 Kekakuan (Marshall Quotient) .....                                                                                    | 23        |
| 2.5.7 VMA (Vold In Mineral Aggregate) .....                                                                                 | 23        |
| <b>BAB III METODELOGI PENELITIAN.....</b>                                                                                   | <b>24</b> |
| 3.1 Bagan Alir penelitian .....                                                                                             | 24        |
| 3.2 Alat Penelitian .....                                                                                                   | 25        |
| 3.3 Bahan Penelitian .....                                                                                                  | 26        |
| 3.4 Pemeriksaan Agregat .....                                                                                               | 27        |
| 3.4.1 Berat Jenis .....                                                                                                     | 27        |
| 3.4.2 Berat Isi .....                                                                                                       | 27        |
| 3.5 Pemeriksaan Aspal pen 60/70.....                                                                                        | 28        |
| 3.5.1 Daktilitas .....                                                                                                      | 29        |
| 3.5.2 Titik Nyala dan Titik Bakar .....                                                                                     | 29        |
| 3.5.3 Titik lembek.....                                                                                                     | 30        |
| 3.6 Kadar Aspal Optimum.....                                                                                                | 31        |
| 3.6.1 Penentuan Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum dan Butiran kaca Sebagai Pengganti Agregat Halus ..... | 31        |
| 3.6.2 Pembuatan Sampel Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum .....                                                            | 32        |
| 3.6.3 Pengujian Sampel .....                                                                                                | 34        |
| 3.6.4 Penentuan dan Pembuatan Campuran Aspal Ideal .....                                                                    | 35        |
| <b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>                                                                                  | <b>36</b> |
| 4.1 Pengujian Material.....                                                                                                 | 36        |
| 4.1.1 Pengujian Agregat .....                                                                                               | 36        |
| 4.1.2 Pengujian Aspal.....                                                                                                  | 40        |
| 4.2 Perumusan Campuran Benda Uji <i>Marshall</i> .....                                                                      | 41        |
| 4.2.1 Perhitungan Berat Masing-masing Aspal dan Agregat .....                                                               | 41        |

|                                                                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.2 Menghitung Parameter Pengujian .....                                                                                                       | 42         |
| 4.2.3. Penentuan Kadar Aspal Optimum .....                                                                                                       | 50         |
| 4.3 Pembuatan Benda Uji <i>Marshall</i> Dengan Penambahan Butiran kaca Dengan Variasi Lama Perendaman.....                                       | 51         |
| 4.3.1. Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Perendaman 30 Menit .....                                                                      | 53         |
| 4.3.2. Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Perendaman 3 Jam.....                                                                          | 61         |
| 4.3.3. Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Perendaman 6 Jam.....                                                                          | 66         |
| 4.3.4. Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Perendaman 9 Jam.....                                                                          | 71         |
| 4.3.5. Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Perendaman 12 Jam.....                                                                         | 76         |
| 4.3.6. Rekapitulasi Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti Agregat Halus Berdasarkan Kadar Aspal Optimum dan Variasi Perendaman. . | 81         |
| 4.4 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Variasi Kadar Campuran.....                                                                       | 86         |
| 4.4.1 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti butiran kaca 0%.....                                                                  | 86         |
| 4.4.2 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti butiran kaca 10%...                                                                   | 89         |
| 4.4.3 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti butiran kaca 20%...                                                                   | 93         |
| 4.4.4 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti butiran kaca 30%...                                                                   | 96         |
| 4.4.5 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti butiran kaca 40%...                                                                   | 99         |
| 4.4.6 Parameter Pengujian <i>Marshall</i> dengan Pengganti butiran kaca 50%.                                                                     | 102        |
| 4.5 Pembahasan .....                                                                                                                             | 105        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                                                                                          | <b>107</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                                                                                              | 107        |
| 5.2 Saran .....                                                                                                                                  | 108        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                                                                                      | <b>109</b> |

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                                                  |     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1  | Nomor Saringan dan Diameter Lubang .....                                                         | 6   |
| Tabel 2.2  | Nomor Saringan Dengan Spec Limit .....                                                           | 6   |
| Tabel 2.3  | Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal (Bina Marga, 2018).....                                     | 9   |
| Tabel 2.4  | Persyaratan Gradasi Agregat Berbagai Tipe Laston Menurut Departemen<br>Pekerjaan Umum. ....      | 10  |
| Tabel 2.5  | Persyaratan aspal keras .....                                                                    | 15  |
| Tabel 2.6  | Persyaratan aspal lunak .....                                                                    | 15  |
| Tabel 2.7  | Persyaratan AC 60/70, Spesifikasi Bina Marga.....                                                | 17  |
| Tabel 3.1  | Jumlah Benda Uji Untuk Menentukan Campuran Kadar Aspal Optimum<br>.....                          | 32  |
| Tabel 3.2  | Jumlah Benda Uji Untuk Penambahan Butiran kaca .....                                             | 32  |
| Tabel 4.1  | Kombinasi Agregat Campuran Desain .....                                                          | 37  |
| Tabel 4.2  | Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....                                        | 39  |
| Tabel 4.3  | Persentase Keausan Agregat .....                                                                 | 40  |
| Tabel 4.4  | Persentase Kadar Lumpur Agregat Halus .....                                                      | 40  |
| Tabel 4.5  | Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Keras Penetrasi 60/70 Pertamina                                | 40  |
| Tabel 4.6  | Berat Aspal dan Agregat masing - masing .....                                                    | 41  |
| Tabel 4.7  | Analisis Data Pengujian Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum<br>.....                            | 44  |
| Tabel 4.8  | Perbandingan Hasil <i>Marshall Test</i> dengan Spesifikasi Bina Marga                            | 46  |
| Tabel 4.9  | Proporsional campuran agregat.....                                                               | 51  |
| Tabel 4.10 | Analisa Data Hasil Uji Marshall dengan penganti agregat halus dengan<br>waktu 30 menit.....      | 54  |
| Tabel 4.11 | Analisa Data Hasil Uji Marshall dengan penganti agregat halus dengan<br>waktu 3 jam .....        | 62  |
| Tabel 4.12 | Analisa Data Hasil Uji Marshall dengan penganti agregat halus dengan<br>waktu 6 jam .....        | 67  |
| Tabel 4.13 | Analisa Data Hasil Uji Marshall dengan penganti agregat halus dengan<br>waktu 9 jam .....        | 72  |
| Tabel 4.14 | Analisa Data Hasil Uji Marshall dengan penganti agregat halus dengan<br>waktu 12 jam .....       | 77  |
| Tabel 4.15 | Gabungan Parameter Pengujian Marshall dengan Pengganti Agregat<br>Halus Dengan Butiran kaca..... | 82  |
| Tabel 4.16 | perbandingan hasil marshall test dengan spesifikasi bina marga.....                              | 86  |
| Tabel 4.17 | perbandingan hasil marshall test dengan spesifikasi bina marga.....                              | 90  |
| Tabel 4.18 | perbandingan hasil marshall test dengan spesifikasi bina marga.....                              | 93  |
| Tabel 4.19 | perbandingan hasil marshall test dengan spesifikasi bina marga.....                              | 96  |
| Tabel 4.20 | perbandingan hasil marshall test dengan spesifikasi bina marga.....                              | 99  |
| Tabel 4.21 | perbandingan hasil marshall test dengan spesifikasi bina marga....                               | 102 |



## DAFTAR GRAFIK

|             |                                                                                                      |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafik 2.1  | Contoh tipikal macam macam gradasi agregat .....                                                     | 8  |
| Grafik 4.1  | Grafik Komposisi Campuran.....                                                                       | 37 |
| Grafik 4.2  | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar Aspal (%).....                                                     | 46 |
| Grafik 4.3  | Hubungan Flow (mm) Vs Kadar Aspal (%) .....                                                          | 47 |
| Grafik 4.4  | Hubungan <i>Void In Mix</i> (%) Vs Kadar Aspal (%).....                                              | 48 |
| Grafik 4.5  | Hubungan VMA (%) Vs Kadar Aspal (%).....                                                             | 48 |
| Grafik 4.6  | Hubungan antara VFB/ VFA (%) Vs Kadar Aspal (%) .....                                                | 49 |
| Grafik 4.7  | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Kadar Aspal (%) .....                                               | 50 |
| Grafik 4.8  | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar butiran kaca(%) dengan variasi perendaman 30 menit .....           | 56 |
| Grafik 4.9  | Hubungan Flow (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 30 menit .....                | 57 |
| Grafik 4.10 | Hubungan Void In Mix (%) Vs Kadar Butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 30 menit.....           | 58 |
| Grafik 4.11 | Hubungan VMA (%) Vs Kadar Butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 30 menit .....                  | 59 |
| Grafik 4.12 | Hubungan antara VFB/ VFA (%) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 30 menit.....       | 60 |
| Grafik 4.13 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 30 menit.....      | 61 |
| Grafik 4.14 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar butiran kaca(%) dengan variasi perendaman 3 Jam .....              | 64 |
| Grafik 4.15 | Hubungan Flow (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 3 Jam .....                   | 65 |
| Grafik 4.16 | Hubungan antara <i>Quotient</i> (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 3 Jam ..... | 66 |
| Grafik 4.17 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar butiran kaca(%) dengan variasi perendaman 6 Jam .....              | 69 |
| Grafik 4.18 | Hubungan Flow (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 6 Jam .....                   | 70 |
| Grafik 4.19 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 6 Jam .....        | 71 |
| Grafik 4.20 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar butiran kaca(%) dengan Variasi Perendaman 9 Jam.....               | 74 |
| Grafik 4.21 | Hubungan Flow (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan variasi perendaman 9 Jam .....                   | 75 |
| Grafik 4.22 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan Variasi Perendaman 9 Jam .....        | 76 |
| Grafik 4.23 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar butiran kaca(%) dengan Variasi Perendaman 12 Jam.....              | 79 |

|             |                                                                                                |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Grafik 4.24 | Hubungan Flow (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan Variasi Perendaman 12 Jam.....             | 80  |
| Grafik 4.25 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Kadar butiran kaca (%) dengan Variasi Perendaman 12 Jam ..... | 81  |
| Grafik 4.26 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs Kadar butiran kaca (%).....                                        | 83  |
| Grafik 4.27 | Hubungan <i>Flow</i> (mm) Vs Kadar butiran kaca (%).....                                       | 84  |
| Grafik 4.28 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Kadar butiran kaca (%).....                                   | 85  |
| Grafik 4.29 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 0%.....                    | 87  |
| Grafik 4.30 | Hubungan Flow (mm) Vs Waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 0%.....                          | 88  |
| Grafik 4.31 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Waktu perendaman (Jam) dengan Pengganti 0% .....              | 89  |
| Grafik 4.32 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 10%.....                   | 90  |
| Grafik 4.33 | Hubungan Flow (mm) Vs Waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 10%.....                         | 91  |
| Grafik 4.34 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Waktu perendaman (Jam) dengan Pengganti 10% .....             | 92  |
| Grafik 4.35 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 20%.....                   | 93  |
| Grafik 4.36 | Hubungan Flow (mm) Vs Waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 20%.....                         | 94  |
| Grafik 4.37 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Waktu perendaman (Jam) dengan Pengganti 20% .....             | 95  |
| Grafik 4.38 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 30%.....                   | 96  |
| Grafik 4.39 | Hubungan Flow (mm) Vs Waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 30%.....                         | 97  |
| Grafik 4.40 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Waktu perendaman (Jam) dengan Pengganti 30% .....             | 98  |
| Grafik 4.41 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 40%.....                   | 99  |
| Grafik 4.42 | Hubungan Flow (mm) Vs Waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 40 %.....                        | 100 |
| Grafik 4.43 | Hubungan antara <i>Quotient</i> (mm) Vs Waktu perendaman (Jam) dengan Pengganti 40% .....      | 101 |
| Grafik 4.44 | Hubungan Stabilitas (kg) Vs waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 50%.....                   | 102 |
| Grafik 4.45 | Hubungan Flow (mm) Vs Waktu perendaman (jam) dengan Pengganti 50%.....                         | 103 |

|             |                                                                                       |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Grafik 4.46 | Hubungan antara Quotient (mm) Vs Waktu perendaman (Jam)<br>dengan Pengganti 50% ..... | 104 |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|



## DARFTAR GAMBAR

|            |                                                                 |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 | Limbah botol kaca.....                                          | 21 |
| Gambar 3.1 | Bagan Alir Penelitian.....                                      | 25 |
| Gambar 4.1 | Diagram Batang Hubungan Parameter Pengujian Vs Kadar Aspal..... | 50 |
| Gambar 4.2 | Bagan Alir Pengganti Butiran Kaca.....                          | 52 |



## NOTASI

|       |                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------|
| A     | = Berat benda uji kering oven (gram)                         |
| B     | = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)              |
| C     | = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram) |
| PB    | = Perkiraan kadar aspal optimum                              |
| CA    | = Agregat kasar                                              |
| FA    | = Agregat halus                                              |
| FF    | = <i>Filer</i>                                               |
| Gmb   | = Berat jenis campuran setelah kompresi, (gr/cc)             |
| Vbulk | = Volume campuran setelah kompresi, (cc)                     |
| Wa    | = Berat udara, (gr)                                          |
| Wm    | = Berat sampel setelah kompresi (gr)                         |
| Wmssd | = Berat benda uji SSD setelah kompresi (gr)                  |
| Wmpw  | = Berat benda uji dalam air setelah kompresi (gr)            |
| S     | = Nilai stabilitas, (kg)                                     |
| P     | = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat               |
| q     | = Angka korelasi tebal benda uji (sampel)                    |
| MQ    | = Nilai marshall quotient, (kg/mm)                           |
| S     | = Nilai stabilitas, (kg)                                     |
| r     | = Nilai flow, (mm)                                           |
| i     | = Berat jenis benda uji (gram)                               |
| j     | = Berat jenis Campuran Maksimal (gram)                       |
| K     | = Persentase volume aspal                                    |
| N     | = Persentase rongga agregat/VMA                              |



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *Agregat halus, metode pengujian berat jenis dan penyerapan air (SNI 03-1970-1990)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall (SNI 2489:1991)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall (SNI 2489:1991)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall (SNI 2489:1991)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Bahan aspal, metode pengujian penetrasi (SNI 2456:2011)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bina Marga Devisi 6 (Revisi 3), 2007, *Perkerasan Aspal*, Dapatermen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Bina Marga Devisi 6 (Revisi 3), 2018, *Perkerasan Aspal*, Dapatermen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Bina Marga (2010). *Spesifikasi umum 2018*. Direktorat Jendral Bina Marga, 2010, 1-6.
- Bukhari. R. A, Ir. M.Eng, dkk, 2004, *Rekayasa Bahan Dan Tebal Perkerasan Jalan Raya*, Darussalam, Banda Aceh.  
<https://journal.unibos.ac.id/jptsk/article/download/3701/2889/27510>
- Napitupulu, F. (2009). *Karakteristik Campuran Aspal Beton dalam Laboratorium*. Universitas Indonesia.
- Naufali, Ridhwan Falih. 2018. *Pengaruh Variasi Panjang dan Kadar Serabut Kelapa terhadap Karakteristik Marshall pada Aspal Porus*. Universitas Brawijaya.
- Rawan, Dewina Gamasrianti. 2023. *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Filler Terhadap Uji Marshall Pada Campuran Aspal Hrs-Wc Dengan Durasi Perendaman*. Universitas Bosowa Makassar.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung.

Setiawan, Budi. 2006. *Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca pada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Shrinkage*. Surabaya:Universitas Kristen Petra.

Wijayati, Fitri Sari. 2016. *Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/32837>

