

PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF *GRAPHENE* TERHADAP KARAKTERISTIK LAPIS TIPIS ASPAL PASIR (LATASIR) A

Rahmat Ade Putra¹⁾, Muhammad Shalahuddin²⁾, Yosi Alwinda²⁾, Amun Amri³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

³⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : rahmat.ade6807@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Latasir or a thin layer of asphalt sand is a pavement surface covering consisting of fine aggregates or sand or a mixture of both hard and asphalt mixed, stretched and compacted under certain conditions. It is often used on the streets as light as local roads or road environment, in order to restrain the rate of water so as not to enter into pores in it. One of the efforts made to improve the quality of asphalt pavement by modifying the mixture material with the addition of certain additives. Graphene is thought to be able to become another asphalt addictive. Several previous studies used Grpahene in various reinforcement structures. The purpose of this study was to determine the value of Marshall characteristics in the mixture of Latasir A using graphene addictive. Variation made in this study were 0% (without mixture), 2%, 2.5%, and 3% for the presentation value of asphalt density as a comparison of the value of stability, flow, VMA, VIM, VFA and MQ. The results of this study indicate that the addition of graphene as an addictive to the asphalt mixture tends to increase the value of stability, the value of melt (flow) so that it becomes more elastic because it is above the specification limit, and not too much increase in the value of the VIM, VMA, VFA, and Marshall Quotient (MQ) value. For the best Marshall Characteristics, the addition of graphene is 3% and the optimum asphalt content (KAO) is 8,50% with a stability value of 580 kg, flow value of 4.10%, VIM 4.50%, VFA 79.00%, VMA 22.30% and MQ 140.00 Kg / mm.

Keywords: graphene, additives, Latasir, Marshall Characteristics

A. PENDAHULUAN

Perkembangan latasir di bidang kontruksi pada umumnya digunakan untuk kenyamanan saat berkendara. Di Indonesia jenis lapis permukaan yang umum digunakan untuk lapisan yang bersifat struktural antara lain Lapen (Lapis penetrasi makadam), Lasbutag (Lapis aspal buton agregat), Laston (lapis aspal beton) dan lapis permukaan yang bersifat nonstruktural antara lain Burtu (laburan aspal satu lapis), Burda (Laburan aspal dua lapis), Latasir (Lapis tipis aspal pasir), buras (laburan aspal), Latasbum (lapis tipis asbuton murni), dan Lataston (lapis tipis aspal beton). Latasir atau Lapis tipis aspal pasir merupakan lapis penutup permukaan perkerasan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan

dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Latasir digunakan untuk jalan dengan lalu lintas ringan atau jalan lingkungan atau jalan luar kota pada daerah dengan agregat kasar tidak tersedia. Dari jenisnya Latasir dibagi menjadi dua, yaitu latasir Kelas A dan Latasir Kelas B. Pemilihan jenis Latasir tergantung pada gradasi pasir yang akan digunakan. Latasir Kelas A memiliki gradasi campuran agregat lebih halus dibandingkan dengan Latasir Kelas B.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh S Aravind, A Joshi Isac, dan S Aparajith (2018) dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik kinerja campuran aspal porus dengan penambahan graphene. Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas mengalami peningkatan sekitar 14,71% dari aspal berpori bitumen normal. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penambahan

graphene dalam berbagai proporsi, yaitu 2%, 2,5%, 3%.

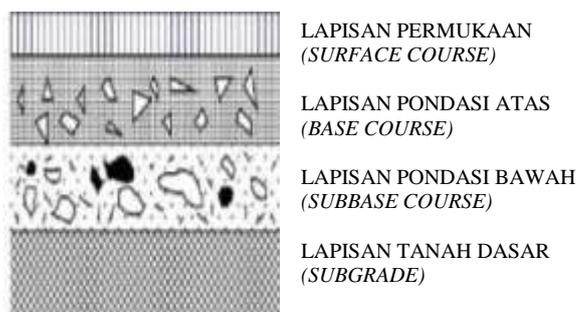
Oleh karena itu, berdasarkan penelitian tersebut penulis melakukan penelitian untuk melihat bagaimana Karakteristik Marshall Latasir Kelas A dengan pengaruh penambahan Graphene sebagai zat aditif sebesar 2 %, 2,5%, dan 3,0% dan menentukan nilai persentase efektif penambahan graphene.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Perkerasan Jalan

Silvia Sukirman (2003) menyatakan Perkerasan Jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan pada sarana transportasi. Berdasarkan bahan pengikatnya, jenis konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*).

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*) dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Susunan lapis konstruksi perkerasan lentur seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur

B.2 Klasifikasi Campuran Aspal

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2005), campuran aspal panas dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis yaitu:

1. Latasir (*Sand Sheet*) Kelas A dan B. Campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rencana kurang dari 0,5 juta ESA dan khususnya pada

daerah dimana agregat kasar sulit diperoleh.

2. Lataston (HRS)

Lataston terdiri dari dua macam campuran yaitu Lataston Lapis Pondasi (*HRS-Base*) dan Lataston Lapis Permukaan (*HRS-Wearing Course*).

3. Laston (AC)

Laston (AC) terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston Lapis Aus (*AC-WC*), Laston Lapis Antara (*AC-BC*), dan Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*).

B.3 Latasir / HRSS (*Hot Rolled Sand Sheet*)

Spesifikasi Latasir telah dikembangkan sejak tahun 1983, yaitu dengan diterbitkannya pedoman berupa buku Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Aspal Pasir, yang dikembangkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dengan No. 02/PT/B/1983. Selanjutnya dikembangkan pula standar nasional yaitu SNI 03-6749-2002, yang selanjutnya pula dilakukan revisi untuk lebih menyempurnakan secara substansial dan memenuhi kebutuhan dalam pekerjaan pembangunan jalan.

Latasir terdiri atas 2 kelas yaitu Latasir kelas A atau SS-1 (*Sand Sheet-1*) dengan ukuran nominal butir agregat atau pasir 9,5 mm, dan Latasir kelas B atau SS-2 (*Sand Sheet-2*) dengan ukuran nominal butir agregat atau pasir 2,36 mm.

Pada umumnya tebal nominal minimum untuk Latasir A dan Latasir B masing-masing 2,0 cm dan 1,5 cm dengan toleransi $\pm 2,0$ mm. Latasir pada umumnya digunakan untuk perencanaan jalan dengan lalu lintas tidak terlalu tinggi (≤ 500.000 SST), tetapi dapat pula digunakan untuk pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan sementara pada lalu lintas yang lebih tinggi..

B.4 Parameter dan Formula Perhitungan

Menurut Bina Marga (2003), dalam menganalisis campuran aspal panas, parameter dan formula perhitungan mengacu kepada RSNI M-01-2003 sebagai berikut.

1. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada beberapa fraksi agregat. Perhitungan kadar aspal rencana dapat menggunakan Persamaan I:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K$$

$$= \{0,035 \times (100 - \text{No.8})\} + \{0,045 \times (\text{No.8} - \text{No.200})\} + \{0,18 \times \text{No.200}\} + K \quad \text{[I]}$$

dengan:

- P_b = Perkiraan kadar aspal optimum (%)
 No.8 = Nilai persentase agregat lolos saringan no.8 (%)
 No.200 = Nilai persentase agregat lolos saringan no.200 (%)
 K = Konstanta kira-kira 2,0 – 3,0(%)

2. Berat Jenis *Bulk* dan *Apparent* Total Agregat

Perhitungan berat jenis kering dari total agregat dapat menggunakan Persamaan II:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad \text{[II]}$$

dengan:

- G_{sb} = Berat jenis kering agregat gabungan
 P_1, P_2, \dots, P_n = Persentase masing-masing agregat (%)
 $G_{sb1}, G_{sb2}, \dots, G_{sbn}$ = Berat jenis kering masing-masing agregat.

Perhitungan berat jenis semu dari total agregat dapat menggunakan Persamaan III:

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \quad \text{[III]}$$

dengan:

- G_{sa} = Berat jenis semu agregat gabungan
 P_1, P_2, \dots, P_n = Persentase masing-masing agregat (%)
 $G_{sa1}, G_{sa2}, \dots, G_{san}$ = Berat jenis semu masing-masing agregat

3. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

Perhitungan berat jenis efektif dari total agregat dapat menggunakan Persamaan IV:

$$G_{se} = \left[\frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \right] \quad \text{[IV]}$$

dengan:

- G_{se} = Berat jenis efektif total agregat
 G_{sb} = Berat jenis kering agregat gabungan
 G_{sa} = Berat jenis semu agregat gabungan

4. Perhitungan Berat Jenis Teoritis Maksimum Campuran

Perhitungan berat jenis teoritis maksimum campuran dapat menggunakan Persamaan V:

$$G_{mm} = \left[\frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \right] \quad \text{[V]}$$

dengan:

- G_{mm} = Berat jenis teoritis maksimum campuran
 P_{mm} = Persentase berat terhadap total campuran (%)
 P_s = Persentase agregat terhadap total campuran (%)
 G_{se} = Berat jenis efektif total agregat
 G_b = Berat jenis aspal
 P_b = Kadar aspal total, persentase terhadap total campuran (%)

5. Berat Isi Benda Uji

Perhitungan berat isi benda uji dapat menggunakan Persamaan VI:

$$G_{mb} = \left[\frac{A}{B-C} \right] \quad \text{[VI]}$$

dengan:

- G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat
 A = Berat kering sampel (gr)
 B = Berat sampel jenuh air kering permukaan (gr)
 C = Berat sampel dalam air (gr)

6. Rongga di antara Mineral Agregat (*Void in the Mineral Aggregate*)

Rongga dalam mineral agregat merupakan salah satu karakteristik *Marshall* yang menunjukkan rongga di antara partikel agregat dalam suatu campuran yang sudah dipadatkan yang berfungsi untuk menampung volume efektif aspal kecuali yang diserap agregat. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3, nilai batas untuk rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.

Penentuan rongga diantara mineral agregat dapat menggunakan Persamaan VII:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad [VII]$$

dengan:

VMA = Rongga diantara Mineral Agregat (%)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat

Gsb = Berat jenis bulk agregat

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total (%)

7. Rongga didalam Campuran (*Void In the compacted Mixture*)

Rongga dalam campuran (VIM) merupakan salah satu karakteristik *Marshall* yang menunjukkan jumlah ruang udara yang terkandung dalam campuran yang terdapat diantara partikel agregat yang dinyatakan dalam persen dari volume total. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3, nilai batas untuk rongga dalam campuran (VIM) yaitu 3-5%.

Penentuan rongga didalam campuran dapat menggunakan Persamaan VIII:

$$VIM = 100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \quad [VIII]$$

dengan:

VIM = Rongga didalam campuran, persen dari volume (%)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat

Gsm = Berat jenis maksimum campuran

8. Rongga Udara yang Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt*)

Rongga terisi aspal (VFA) merupakan salah satu karakteristik *Marshall* yang menunjukkan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3, nilai batas untuk rongga terisi aspal (VFA) yaitu minimal 65%.

Penentuan udara yang terisi aspal dapat menggunakan Persamaan IX:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad [IX]$$

dengan:

VFA = Rongga udara yang terisi aspal (%)

VIM = Rongga udara pada campuran, persen dari volume (%)

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%).

B.5 Pengujian Campuran Aspal

B.5.1 Pengujian Volumetrik

Pengujian volumetrik adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai *specific gravity* campuran dan porositas setiap benda uji. Pengujian ini terdiri dari pengukuran tinggi, diameter, berat kering, berat dalam air dan berat jenuh kering permukaan benda uji.

B.5.2 Pengujian *Marshall*

Menurut RSNI M-01-2003, pengujian *Marshall* adalah pengujian terhadap benda uji untuk menentukan Kadar Aspal Optimum dan karakteristik campuran dengan mengetahui nilai stabilitas, *flow (kelelahan)* dan *Marshall Quotient (MQ)*.

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan salah satu karakteristik *Marshall* yang menunjukkan kemampuan suatu campuran untuk dapat menahan suatu deformasi yang diakibatkan oleh suatu beban tanpa menimbulkan perubahan yang tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Nilai stabilitas yang tinggi berdampak pada konstruksi perkerasan jalan yang semakin kuat dan getas sehingga dapat memikul beban lalu lintas yang lebih berat, namun rentan mengakibatkan permukaan jalan yang lebih mudah retak.

Nilai stabilitas benda uji diperoleh menggunakan Persamaan X:

$$\text{Stabilitas} = q \times C \times k \quad [X]$$

dengan:

q = Pembacaan pada alat *Marshall* (%)

C = Faktor kalibrasi alat (kg)

k = Angka koreksi benda uji diperoleh dari korelasi nilai isi benda uji (cm³) atau tebal benda uji (mm) berdasarkan

Spesifikasi Umum Bina Marga 2003 revisi 3.

2. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*Flow*) merupakan salah satu karakteristik *Marshall* yang menunjukkan tingkat kekakuan suatu perkerasan, nilai yang kecil cenderung menghasilkan perkerasan yang kaku dan getas. Hal ini akan mengakibatkan perkerasan akan mudah retak. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi akan membuat perkerasan bersifat plastis, hal ini akan mengakibatkan perkerasan akan mudah berubah bentuk apabila dibebani.

Pengukuran *flow* bersamaan dengan pengukuran nilai stabilitas *Marshall*. Nilai *flow* diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test*. Nilai kelelahan menunjukkan besarnya deformasi vertikal yang terjadi pada benda uji mulai saat awal pembebanan hingga benda uji mencapai batas maksimum stabilitas, sehingga benda uji sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3, nilai batas untuk kelelahan yaitu 2-4 mm.

3. Hasil Bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*, MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan salah satu karakteristik *Marshall* yang menunjukkan sifat kekakuan suatu perkerasan, tingkat fleksibilitas campuran yang merupakan kemampuan untuk deformasi akibat beban tanpa mengalami perubahan volume dan keretakan. Nilai MQ terlalu kecil menyebabkan perkerasan cenderung menjadi plastis atau lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk apabila dibebani. Sebaliknya, jika terlalu besar maka lapisan perkerasan tersebut akan getas dan mudah mengalami keretakan. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3, nilai batas untuk *Marshall Quotient* (MQ) yaitu minimal 250 kg/mm.

Nilai MQ diperoleh dari hasil bagi nilai stabilitas dengan nilai *flow* yang dapat dihitung dengan Persamaan XI:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad [XI]$$

dengan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

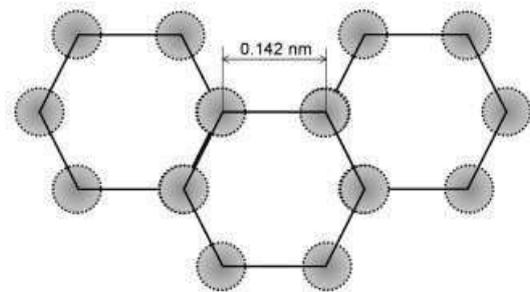
MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = *Marshall Flow* (mm)

B.6 *Graphene* sebagai Zat Aditif

Graphene adalah *allotrop carbon* yang terdiri dari satu lapisan yang berikatan pada atom karbon sp^2 . *Allotrop carbon* merupakan senyawa yang terbentuk dari atom unsur karbon dengan struktur yang berbeda. *Graphite*, *Graphene*, *Graphene Oksida*, *Amorf Carbon*, adalah contoh dari *allotrop carbon*.

Graphite dapat diperoleh dari penambangan bahan alam mineral yang banyak digunakan sebagai bahan pada pembuatan pensil. *Graphene*, *Graphene Oksida* merupakan hasil pemecahan lapisan *graphite* menjadi 1 hingga 6 layer yang memiliki sifat lebih unggul dari *graphite*. *Graphene* terdiri dari lapisan monoatomik atom karbon yang disusun dalam bidang dua dimensi sesuai dengan pola sarang lebah, dimana jarak antara atom karbon 0,142 nm seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur dari *Graphene* (Zhen, Z and Zhu, H. 2018)

Graphene memiliki sifat-sifat yang luar biasa. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah mobilitas elektron yang tinggi, konduktivitas listrik yang tinggi, konduktivitas termal yang tinggi, transparansi optik yang baik serta memiliki kekuatan tarik 1 TPa atau 200 kali lebih keras dari baja dan 20 kali lebih keras dari berlian. Satu lembar *graphene* dengan luas 1 m² beratnya hanya 0,77 mg (Casero dkk., 2012).

Penelitian tentang sintesis *graphene* untuk menghasilkan *graphene* satu lapis (*single-layer*) dan beberapa lapis (*few-layer*) dari material dasar karbon diantaranya dengan *Mechanical exfoliation graphene* menggunakan metode *peel-off* dengan *Scotch-tape*, *Chemical Vapor Decomposition* (CVD) lapisan *graphene*, metode *Hummer*, dan sintesis *graphene* dengan metode reduksi Grafit Oksida (GO) (Junaidi dan Susanti, 2013).

C. METODOLOGI PENELITIAN

Penentuan proporsi masing-masing agregat yang akan diuji harus memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3. Gradasi gabungan ditunjukkan dalam persentase terhadap berat agregat. Menurut spesifikasi tersebut, gradasi gabungan untuk campuran aspal harus memenuhi batas-batas gradasi. Penelitian ini menggunakan empat variasi proporsi yang mengacu pada batas-batas gradasi agregat gabungan AC-WC. Standar pengujian yang digunakan menggunakan metode yang telah disahkan oleh Bina Marga dan telah menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI).

C.1 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan terdiri dari:

1. Batu pecah (*split*) sebagai agregat kasar, agregat medium dan agregat halus yang berasal dari Sungai Kampar yang diolah oleh PT. Alas Watu Emas menjadi material sirtu (*stone crusher*)
2. Pasir sebagai agregat halus (*fine sand*) merupakan pasir alam diperoleh dari pasir Sungai Taratak Buluh, Kabupaten Kampar
3. Bahan pengisi (*filler*) berupa *Portland Composite Cement* (PCC) berasal dari PT. Semen Padang
4. Aspal sebagai bahan pengikat berupa aspal penetrasi 60/70 dengan merk *Cosmic*
- 5.
6. *Graphene* sebagai zat aditif akan dibuat di Laboratorium Kimia *Functional and Nanostructured Materials Engineering Research Group* (FN-MER-G) Fakultas Teknik Universitas Riau.

C.2 Prosedur Pengujian Bahan Penyusun

Perlu diperhatikan sebelum pengujian campuran beraspal dilakukan, semua bahan yang akan digunakan harus memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3. Untuk itu, semua bahan untuk campuran baik itu aspal dan agregat harus diperiksa karakteristiknya terlebih dahulu sesuai standar yang telah ditentukan.

C.3 Pembuatan *Graphene* sebagai Zat Aditif

Graphene sebagai zat aditif akan dibuat dengan metode *Electrochemical and Mechanical Liquid Exfoliation* (EMLE). Metode ini merupakan perpaduan dari metode *Mechanical Exfoliation* (ME) dan *Liquid Exfoliation* (LE). Serpihan *graphite* yang dihasilkan berasal dari proses *Elektrochemical Exfoliation*.

Istilah *Electrochemical and Mechanical Liquid Exfoliation* (EMLE) pada salah satu metode pembuatan *graphene* diartikan bahwa sampel yang dibuat pada fase cair dan dihancurkan atau dihaluskan secara mekanik menggunakan blender (Eswaraiah dkk., 2014). Metode ini sangat menjanjikan untuk produksi *graphene* karena sederhana, biaya rendah, tidak menggunakan bahan kimia beracun, kemudahan dalam produksi skala besar, dan menghasilkan *graphene* dengan kualitas yang baik.

Prinsip dari metode ini adalah terjadinya pengelupasan *graphene* dari *graphite* didalam pelarutnya berupa larutan surfaktan dan dihaluskan secara mekanik menggunakan blender. Surfaktan berfungsi sebagai dispersan dalam air agar tidak mengendap. *Graphite* harus terdispersi dengan baik dalam *Aquades*. Pelemahan pada lembaran-lembaran *graphite* saling mengelupas menjadi *graphene* diakibatkan adanya gaya geser antar lembar *graphene* akibat turbulensi dalam blender.

Metoda ini menggunakan larutan surfaktan jenis FL (*fairy liquid*) 1,25 gr dengan konsentrasi 2,5 mg/ml dalam 500 ml *aquadest* dan diaduk. Untuk proses pengelupasan (*exfoliation*) dilakukan pada serpihan *graphite* berasal dari isi pensil 2B (jenis pensil ini sudah diuji sebelumnya dan menghasilkan kualitas *graphene* yang paling baik dari jenis pensil lainnya), kemudian diayak dan diambil serpihan lolos saringan no. 200 sebanyak 10 gram untuk pembuatan *graphene* konsentrasi 20 mg/ml. Semua campuran dimasukkan ke dalam blender *Kenwood* BL370 dengan kecepatan maksimal. Untuk menjaga kondisi proses di dalam blender, maka untuk pengoperasian yaitu 1 menit on dan 1 menit off supaya blender tidak panas. Jadi butuh waktu selama 2 jam hingga proses pengoperasian blender selesai. Setelah pengelupasan kulit

graphite selesai, *graphene* EMLE yang dihasilkan kemudian didiamkan, serbuk atau busa-busa *graphite* sisa dibuang. *Graphene* EMLE kemudian dikarakterisasi selama 7 hari dan hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pembuatan *Graphene*

C4 Rancangan Campuran LATASIR A

Penentuan campuran atau proporsi masing-masing agregat yang akan digunakan harus memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3. Pada penelitian ini jenis gradasi Laston yang akan digunakan adalah gradasi LATASIR A.

C.4.1 Penentuan Gradasi Agregat

Perencanaan gradasi agregat untuk campuran aspal di laboratorium, dapat dilaksanakan tanpa memblending agregat, yaitu berdasarkan gradasi ideal (batas tengah) spesifikasi gradasi agregat gabungan yang ditentukan. Masing-masing ukuran butir agregat diperoleh dengan mengayak agregat dengan saringan yang ditentukan.

C.4.2 Penentuan Proporsi Agregat

Penelitian ini menggunakan cara analitis (*matriks*) dalam menentukan proporsi agregatnya. Penelitian ini menggunakan beberapa fraksi agregat diantaranya adalah fraksi agregat kasar (CA), agregat medium (MA), dan agregat halus (FA)). Berdasarkan fraksi tersebut diambil nilai yang mewakili masing-masing fraksi yang digabungkan menjadi satu susunan bilangan

matriks dengan nilai hasil adalah bilangan *matriks* nilai antara batas atas dan batas bawah persentase lolos saringan.

C.4.3 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Persentase kadar aspal rencana berguna dalam menentukan persentase terhadap berat total campuran. Masing-masing variasi kadar aspal rencana akan mempengaruhi nilai jumlah material saringan berdasarkan proporsi campuran yang direncanakan. Kadar aspal rencana dapat ditentukan dengan mengetahui perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) menggunakan Persamaan (I).

Data-data proporsi agregat gradasi gabungan yang dipakai pada perhitungan nilai Pb yaitu:

1. Nilai persentase lolos saringan no.8 sebesar 52,56%
2. Nilai persentase lolos saringan no. 200 sebesar 13,98%.

Berdasarkan data diatas, diperoleh nilai Pb sebesar $7,9\% \approx 7\%$. Maka, kadar aspal rencana yang akan digunakan adalah $7\% \pm 0,5\%$ (7%-9%) yang artinya variasi kadar aspal rencana mulai dari 7%, 7,5%, 8%, 8,5%, dan 9%.

C.4.4 Penentuan Persentase Material terhadap Berat Total Campuran

Persentase proporsi agregat dihitung berdasarkan berat total agregat karena dalam campuran terdapat kandungan aspal, maka perlu dihitung persentasi material terhadap berat total campuran. Untuk membuat sebuah sampel umumnya diperlukan 1200 gram agregat yang proporsinya sesuai dengan ukuran butir agregat. Persentase terhadap berat total campuran akan berubah sesuai dengan variasi persentase kadar aspal rencana.

C.4.5 Perhitungan Jumlah Material yang Dibutuhkan

Setelah proporsi agregat ditentukan, barulah dibuat jumlah material masing- masing saringan berdasarkan kadar aspal rencana 7%-9% (7%, 7,5%, 8%, 8,5%, dan 9%) berdasarkan proporsi campuran yang direncanakan yang telah memenuhi spesifikasi.

C5 Pembuatan Benda Uji Marshall untuk Mencari Nilai KAO

C.5.1 Persiapan Aspal dan Graphene

Persiapan yang dilakukan terhadap aspal yaitu dengan memanaskan pada suhu di bawah titik nyalanya hingga aspal mencair.

Pada pengujian ini, untuk memudahkan dalam metode pelaksanaan dalam pembuatan benda uji Marshall, disediakan 4 kaleng untuk pencampuran beberapa variasi aspal dan graphene dengan berat yang sudah ditetapkan.

Masing-masing variasi campuran aspal untuk pembuatan benda uji Marshall terdiri dari beberapa variasi seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Variasi Campuran Aspal untuk Pembuatan Benda Uji Marshall berdasarkan Persentase Penambahan Graphene

No.	Jenis Variasi	Persentase Penambahan Graphene
		0 % (tanpa penambahan graphene) sebagai pembanding
1.	Variasi 1	
2.	Variasi 2	2%
3.	Variasi 3	2,5%
4.	Variasi 4	3%

C.5.2 Jumlah Sampel Benda Uji

Berdasarkan variasi kadar aspal, variasi graphene, dan jumlah benda uji setiap variasinya sebanyak 3 buah, maka jumlah benda uji yang dibutuhkan sebanyak 60 buah benda uji dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan nilai karakteristik Marshall dengan uraian seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Benda Uji Berdasarkan Variasi Kadar Aspal dan Penambahan Graphene

Kadar Aspal (%)	Variasi Penambahan Graphene (%)				Jumlah Sampel (buah)
	0	2	2,5	3	
7	3	3	3	3	12
7,5	3	3	3	3	12
8	3	3	3	3	12
8,5	3	3	3	3	12
9	3	3	3	3	12
Total					60

Pengujian Volumetrik, Stabilitas Alat dan Kelelahan (Flow)

Langkah pengujian volumetrik, stabilitas alat dan kelelahan (*flow*) berdasarkan RSNI M-01-2003 yang merupakan rujukan dari spesifikasi umum Bina Marga. Parameter dan formula perhitungan sebelumnya pada bagian Tinjauan Pustaka.

C5 Perhitungan dan Analisis Hasil Pengujian

Perhitungan dan analisis hasil pengujian untuk nilai karakteristik Marshall dan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan pada masing-masing variasi. Langkah perhitungan dan analisis hasil pengujian benda uji Marshall berdasarkan RSNI M-01-2003 yang merupakan rujukan dari spesifikasi umum Bina Marga dengan menganalisis lima karakteristik Marshall dengan menjabarkan grafik stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA dan MQ. Setiap nilai karakteristik Marshall diuraikan dalam grafik yang dibatasi oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3, lalu dipindahkan ke dalam tabel kinerja Marshall. Kadar Aspal Optimum diperoleh dari nilai yang memenuhi semua kriteria Marshall tersebut.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Analisis dan Hasil Pengujian Bahan Penyusun

Pengujian bahan penyusun bertujuan untuk mengetahui kelayakan dari sifat dan karakteristik campuran Laston dalam memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3.

D.1.1 Hasil Pengujian Sifat dan Karakteristik Aspal dengan Penambahan Graphene sebagai Zat Aditif

Untuk pengujian sifat dan karakteristiknya aspal ditambahkan graphene, pada penelitian ini dibatasi dengan melakukan pengujian penetrasi aspal dan daktilitas aspal. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengujian sifat dan karakteristik aspal yang telah dilakukan tanpa campuran graphene dinyatakan bahwa aspal

memenuhi syarat dari Spesifikasi Umum Bina Marga dan layak digunakan dalam campuran beraspal. Namun pada pengujian aspal dengan campuran *graphene* khususnya untuk pengujian penetrasi aspal dan daktilitas, hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa:

1. Pengujian penetrasi dengan penambahan 2%, 2,5% 3% *graphene* tidak memenuhi spesifikasi dengan jenis aspal penetrasi 60/70. Semakin besar persentase *graphene* yang ditambahkan kedalam aspal, nilai penetrasi semakin menurun yang akan mempengaruhi tingkat

kekerasan aspal sehingga fungsi aspal dengan penetrasi yang direncanakan sebelumnya berdasarkan volume lalu lintas dan keadaan daerah atau cuaca, dengan adanya penambahan *graphene* akan berubah.

2. Pengujian daktilitas dengan penambahan 2%, 2,5%, 3% masih memenuhi spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar persentase *graphene* yang ditambahkan kedalam aspal, nilai daktilitas semakin menurun, namun masih memenuhi spesifikasi. Ini membuktikan bahwa *graphene* mempengaruhi sifat kekenyalan atau keplastisan aspal.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Standar Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik					
Tanpa Campuran <i>Graphene</i>		62,20			
Penambahan <i>Graphene</i> 2%	Dmm	58,10	SNI-06-2456-1991	60	79
Penambahan <i>Graphene</i> 2,5%		57,30			
Penambahan <i>Graphene</i> 3%		56,50			
Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	°C	55,85	SNI 2434:2011	48	
Titik Nyala dengan <i>Cleveland Open Cup</i>	°C	235	SNI 2433:2011	232	
Daktilitas, 25 °C, 5 cm/menit					
Tanpa Campuran <i>Graphene</i>	cm	147,5	SNI 2432:2011	100	
Penambahan <i>Graphene</i> 2%		133,5			
Penambahan <i>Graphene</i> 2,5%		130,5			
Penambahan <i>Graphene</i> 3%	cm	126,5	SNI 2432:2011	100	
Berat Jenis		1,032	SNI 2441:2011	1,0	
Kehilangan Berat (TFOT)	%	0,000	SNI-06-2441-1991		0,8
Viskositas					
Suhu Pematatan Ideal (Viscositas = 280 cSt)	°C	141,5			
Suhu Pematatan Min 250°C	°C	149	AASHTO T 72-90	135	155
Suhu Pematatan Mak 310°C	°C	145			
Suhu Pencampuran Ideal (Viscositas = 170 cSt)	°C	149,5		149	160
Suhu Pencampuran Min 150°C	°C	156	AASHTO T 54-61		
Suhu Pencampuran Mak 190°C	°C	153			

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Standar Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan <i>natrium sulfat</i>	%	7,317	SNI 3407:2008		12
Kearifan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i>	%	31,120	SNI 2417:2008		40
Kelekatan agregat terhadap aspal	%	97,175	SNI 2439:2011	95	
Butir pecah pada agregat kasar	%	92,972	SNI 7619:2012		95/90
Partikel pipih dan lonjong	%	7,325	ASTM D4791		10
Kekuatan agregat terhadap tumbukan (AIV)	%	7,221	BS 812 : Part 3:1975		30
Berat jenis agregat kasar					
a. Berat jenis <i>Bulk</i>		2,554			
b. Berat jenis SSD		2,589		2,5	
c. Berat jenis		2,646			
d. Penyerapan (%)	%	1,370			3
Berat jenis agregat sedang			SNI 03-1969-1990		
a. Berat jenis <i>Bulk</i>		2,632			
b. Berat jenis SSD		2,667		2,5	
c. Berat jenis		2,727			
d. Penyerapan (%)	%	1,328			3

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Standar Uji	Spesifikasi	
				Min	Maks
Gumpalan lempung dan butir - butir mudah pecah dalam agregat	%	0,131	SNI 03-4141-1996		1
Angularitas dengan uji kadar rongga	%	45,014	SNI 03-6877-2002	45	
Nilai setara pasir (<i>sand equivalent</i>)	%	80,242	SNI 03-4428-1997	60	
Berat jenis agregat halus					
a. Berat jenis <i>Bulk</i>		2,608			
b. Berat jenis SSD		2,620		2,5	
c. Berat jenis		2,640			
d. Penyerapan (%)		0,462			3
Berat jenis pasir (<i>fine sand</i>)			SNI 03-1970-1990		
a. Berat jenis <i>Bulk</i>		2,638			
b. Berat jenis SSD		2,660		2,5	
c. Berat jenis		2,696			
d. Penyerapan (%)		0,806			3

D.1.2 Hasil Pengujian Sifat dan Karakteristik Agregat

Agregat yang diuji dalam penelitian ini adalah agregat kasar lolos saringan 1” sampai tertahan saringan no. 4 dan agregat halus terdiri dari agregat yang lolos saringan no. 4.

Hasil pengujian sifat dan karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Berdasarkan hasil pengujian sifat dan karakteristik agregat yang telah dilakukan, dinyatakan bahwa agregat memenuhi syarat

dari Spesifikasi Umum Bina Marga dan layak digunakan dalam campuran beraspal.

D.2 Hasil Rancangan Campuran Pengujian Karakteristik LATASIR A

Karakteristik campuran aspal beton dapat diketahui dengan menganalisis nilai berat isi, VIM, VMA, VFA, stabilitas, *flow* dan MQ. Untuk dapat menentukan nilai-nilai tersebut diperlukan data hasil pengujian volumetrik benda uji *Marshall*, pengujian

analisis saringan, berat jenis agregat dan berat jenis aspal.

D.2.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Campuran LATASIR A Berdasarkan Nilai Karakteristik Marshall

Hasil perhitungan pengujian karakteristik Marshall masing-masing dilakukan pada tiap variasi campuran Latasir berdasarkan nilai karakteristik Marshall. Contoh perhitungan awal pada Variasi 1. Semua nilai karakteristik Marshall yang dibutuhkan dalam menentukan KAO dapat dilihat pada Tabel 7.

Grafik perbandingan masing-masing karakteristik Marshall terhadap kadar aspal berdasarkan hasil perhitungan pengujian karakteristik Marshall pada Variasi 1 tiap benda uji yang berguna dalam penentuan KAO. Hal yang sama dilakukan pada Variasi 2, Variasi 3, dan Variasi 4, sehingga nilai KAO masing-masing variasi yang didapatkan seperti yang terlihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Karakteristik Marshall Variasi 1 Aspal Ditambahkan 0% Graphene

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VFA (%)	VMA (%)	MQ (Kg/mm)	
7	1	690,693	3,2	5,54	72,438	20,101	207,21
	2	257,317	2,8	5,457	72,758	20,03	88,22
	3	474,005	2,2	8,66	61,916	22,74	191,76
7,5	1	636,521	3,2	9,242	61,767	24,172	171,07
	2	406,29	2,5	9,482	61,097	24,373	139,76
	3	541,72	3,1	10,259	59	25,022	150,28
8	1	487,548	2,8	7,406	68,6	23,584	154,97
	2	582,349	3,5	7,047	69,739	23,289	148,08
	3	541,72	2,8	4,943	77,064	21,553	179,93
8,5	1	474,005	3,6	8,554	66,394	25,454	113,23
	2	541,72	3,5	3,935	81,857	21,689	143,94
	3	677,15	3,1	4,326	80,342	22,008	203,15
9	1	785,494	2,7	1,805	91,375	20,929	279,29
	2	514,634	5,4	2,431	88,658	21,433	91,49
	3	541,72	4,5	3,011	86,252	21,9	115,57

Tabel 8. Nilai KAO Masing-Masing Variasi

No.	Jenis Variasi	Persentase Penambahan Graphene	KAO (%)
1.	Variasi 1	0% (tanpa penambahan graphene) sebagai pembanding	8,65%
2.	Variasi 2	2%	8,75%
3.	Variasi 3	2,5%	8,70%
4.	Variasi 4	3%	8,50%

D.2.2 Penentuan Nilai Karakteristik Marshall pada Campuran LATASIR A pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO).

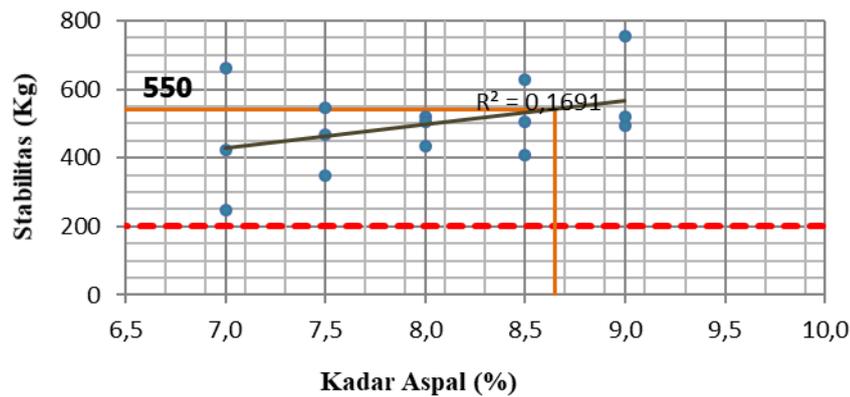
Penentuan nilai karakteristik Marshall pada campuran 1 semua variasi dengan penambahan graphene pada kondisi nilai KAO sudah diketahui sebelumnya dengan nilai masing-masing variasi. Penentuan nilai-nilai karakteristik Marshall kondisi KAO pada penelitian ini masing-masing variasi dilakukan dengan memproyeksikan nilai KAO pada tiap-tiap grafik perbandingan nilai karakteristik Marshall stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ terhadap kadar aspal 7%-9% yang sebelumnya yang sudah dibuat dari data perhitungan benda uji Marshall.

Contoh penentuan salah satu nilai karakteristik Marshall pada kondisi KAO khususnya untuk Variasi 1 dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil dari grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pada kondisi KAO bernilai 8,65%, nilai stabilitas diperoleh sebesar 550 kg dan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3 dengan nilai batas sebesar 200 kg.

Hal yang sama dilakukan pada nilai karakteristik Marshall lainnya flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ terhadap kadar aspal 7%-9% pada kondisi KAO masing-masing variasi, sehingga nilai masing-masing karakteristik Marshall yang dibatasi dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3 akan terlihat seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Tiap-Tiap Karakteristik Marshall Semua Variasi pada Kondisi KAO

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Masing-Masing Variasi Penambahan Graphene pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)			
		Variasi 1 Graphene 0%	Variasi 2 Graphene 2,0%	Variasi 3 Graphene 2,5%	Variasi 4 Graphene 3,0%
Stabilitas (Kg)	> 200	540	573	580	580
Flow (mm)	2-3	3,6	3,8	3,9	4,1
VIM (%)	3-6	4	4,5	4,7	4,5
VMA (%)	Min 20	22,5	22,7	22,7	22,3
VFA (%)	Min 75	79	80	79	79
MQ (kg/mm)	Min 80	150	143	150	140

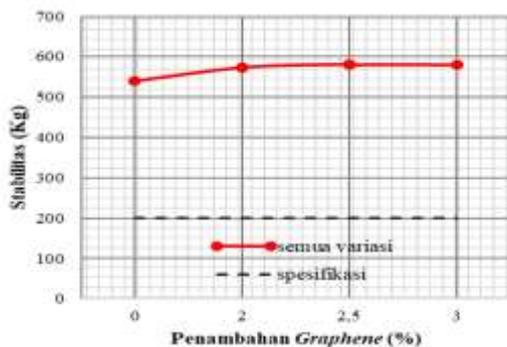


Gambar 3. Grafik Penentuan Nilai Stabilitas pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

D.2.3 Hubungan Karakteristik Marshall Semua Variasi terhadap Penambahan Graphene pada Campuran Latisir Kelas A Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berikut ini merupakan hubungan nilai masing-masing karakteristik *Marshall* semua variasi terhadap penambahan *graphene* pada campuran Latisir A pada kondisi KAO ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 9 mulai dari stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ).

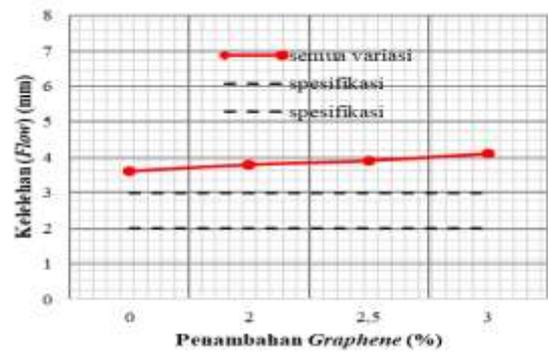
1. Stabilitas



Gambar 4. Hubungan antara Stabilitas dan Penambahan *Graphene*

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan persentase *graphene* pada saat kondisi kadar aspal optimum (KAO) cenderung meningkatkan nilai stabilitas pada campuran latisir kelas A.

2. Kelelahan (*Flow*)

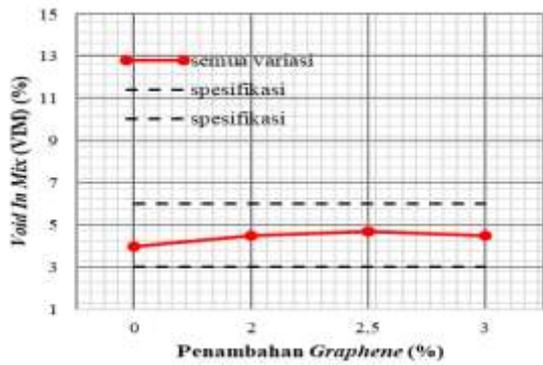


Gambar 5. Hubungan antara Kelelahan (*Flow*) dan Penambahan *Graphene*

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan persentase *graphene* pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) nilai kelelahan (*flow*) cenderung meningkat dan menjadi lebih elastis karena berada di atas batas spesifikasi. Hal ini disebabkan oleh persentase kadar aspal rencananya terlalu tinggi yaitu dimulai dari 7%-9%.

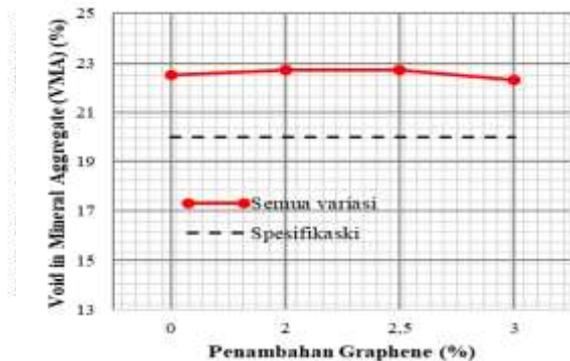
3. Rongga dalam Campuran, VIM (*Void in Mix*)

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa penambahan persentase *graphene* pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) cenderung meningkatkan nilai rongga dalam campuran (VIM) dan berada pada posisi batas spesifikasi walaupun mengalami penurunan sedikit pada penambahan *graphene* 3%.



Gambar 6. Hubungan antara Rongga dalam Campuran (VIM) dan Penambahan *Graphene*

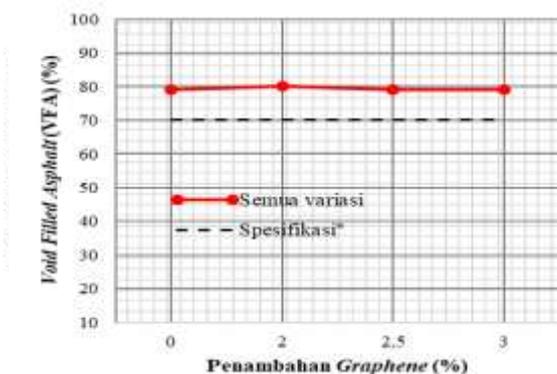
4. Rongga dalam Mineral Agregat, VMA (Void in Mineral Aggregate)



Gambar 7. Hubungan antara Rongga dalam Mineral Agregat (VMA) dan Penambahan *Graphene*

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan persentase *graphene* pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) cenderung meningkatkan nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) walaupun tidak terlalu tinggi peningkatan nilainya.

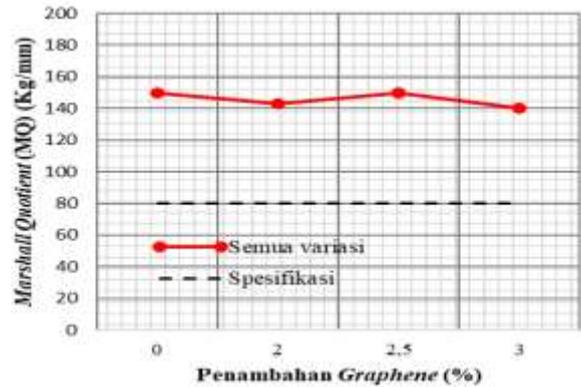
5. Rongga Terisi Aspal, VFA (Void Filled with Asphalt)



Gambar 8. Hubungan antara Rongga Terisi Aspal (VFA) dan Penambahan *Graphene*

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 8 menunjukkan bahwa penambahan persentase *graphene* pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) cenderung tidak ada peningkatan yang terlalu signifikan pada nilai rongga terisi aspal (VFA) pada campuran latasris kelas A.

6. Marshall Quotient (MQ)



Gambar 9. Hubungan antara Marshall Quotient (MQ) dan Penambahan *Graphene*

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa penambahan persentase *graphene* pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) cenderung tidak terlalu mempengaruhi nilai Marshall Quotient (MQ).

Berdasarkan pengujian dan analisis data yang telah dilakukan pada tiap-tiap karakteristik Marshall semua variasi terhadap penambahan *graphene* pada campuran Latasir Kelas A. Pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO), maka dapat diketahui dan ditentukan masing-masing nilai karakteristik Marshall. Nilai paling baik pada penelitian ini terdapat pada variasi dengan penambahan 3% *graphene* sehingga direkomendasikan pada campuran Latasir Kelas A.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk nilai karakteristik Marshall yang baik digunakan terdapat pada penambahan *graphene* 3% dengan kadar aspal optimum (KAO) 8,50% dengan nilai stabilitas 580kg, flow 4,10%, VIM 4,50%, VFA 79,00%, VMA 22,30%, MQ 140,00 Kg/mm. Penambahan persentase *graphene* pada nilai karakteristik Marshall pada campuran *LATASIR A* disimpulkan sebagai berikut :

- a. Cenderung meningkatkan nilai stabilitas dari 540 kg menjadi 580 kg dengan penambahan *graphenene* 3% didapati selisih nilai stabilitas 40 kg atau sekitar 15% dari nilai tanpa penambahan *graphene*.
- b. Meningkatkan nilai kelelahan (*flow*) dari 3,6mm menjadi 4,1mm pada penambahan *graphene* 3%, sehingga nilai *flow* menjadi lebih elastis karena berada di atas batas spesifikasi,
- c. Meningkatkan nilai rongga dalam campuran (VIM) dari nilai 4% menjadi 4,5% pada penambahan *graphene* 2% dan pada penambahan 2,5% menjadi 4,7% terjadi penurunan pada penambahan 3% menjadi 4,5%.
- d. Meningkatkan nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) dari nilai 22,5% menjadi 22,7% dan terjadi penurunan pada penambahan *graphene* 3% dengan nilai 22,3%.
- e. Cenderung tidak ada peningkatan yang signifikan pada nilai rongga terisi aspal (VFA),
- f. Tidak ada peningkatan pada nilai *Marshall Quotient* (MQ).

E.2 SARAN

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penyempurnaan hasil penelitian ini dan untuk mengembangkan penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperhatikan hal-hal penting berikut ini :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan kadar aspal rencana yang lebih kecil agar nilai *flow* masuk di dalam batas spesifikasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan zat adiktif *graphene* dengan variasi lain.

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials. *T 72-90/T 54-61. Testing Viscosity*. Washington DC : AASHTO

- American Standard Testing and Material. *D 4791. Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles In Coarse Aggregate*. United State : ASTM International
- Aravind, S, dkk. (2018). *Construction Of Porous Asphalt Pavement Using Graphene*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 04. ISSN:2455-1457.
- Bina Marga. (1991). *SNI-06-2456. Metode Pengujian Penetrasi Baha-Bahan Bitumen*. Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2003). *RSNI-M-01. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2010). *Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2010*. Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.
- British Standards Institution. (1975). *BS 812-3. Testing Aggregates*. London : W1A 2BS
- Casero, E., Parra-Alfambra, A. M., Petit-Dominguez, M. D., Pariente, F., Lorenzo, E., dan Alonso, C. (2012). *Differentiation Between Graphene Oxide and Reduced Graphene by Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*. *Electrochemistry Communications*. Elsevier, pp. 63–66. DOI: 10.1016/j.elecom.2012.04.002.
- Dimitros, G., dkk. (2015). *Graphene / Elastomer Nanocomposite*. *Carbon*. pp: 460-484. Elsevier. DOI:10.1016/j.carbon.2015.08.055.
- Eswaraiah, V., K. Paton, C. Backes, A. Harvey, R. Smith, J. McCauley dan J.Coleman. (2014). *Turbulence-assisted shear exfoliation of graphene using household detergent and a kitchen blender*. *Nanoscale*. DOI :10.1039/C4NR03560G.
- Laboratorium Jalan Raya. (2017). *Panduan Praktikum Jalan Raya*. Pekanbaru : Fakultas Teknik Universitas Riau
- Standar Nasional Indonesia. (1990). *SNI 03-1969. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasioanal.
- Standar Nasional Indonesia. (1990). *SNI 03-1970. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1996). *SNI 03-4141. Metode Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-Butir Mudah Pecah Dalam Agregat*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (1997). *SNI 03-4428. Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

- Standar Nasional Indonesia. (2002). SNI 03-6877. *Metode Pengujian Kadar Rongga Agregat Halus yang Tidak Dipadatkan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2005). *RSNI T 01. Cara Uji Butiran Agregat Berbentuk Pipih, Lonjong, atau Pipih dan Lonjong*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). *SNI-2417. Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). *SNI-3407. Cara Uji Sifat Kekekalan Agregat dengan Cara Perendaman Menggunakan Larutan Natrium Sulfat Atau Magnesium Sulfat*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI-2432. Cara Uji Daktilitas Aspal*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI-2433. Cara Uji Kehilangan Berat Aspal*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI-2433. Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI-2434. Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI-2439. Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan Pada Campuran Agragat Aspal*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI-2441. Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). *SNI-7619. Metode Uji Penentuan Persentase Butir Pecah Pada Agregat Kasar*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Sukirman, Silvia. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Edisi ke-1, Penerbit Yayasan Obor Indonesia.
- Sukirman, Silvia. (2007). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Edisi ke-2, Penerbit Yayasan Obor Indonesia.
- Syakir, Norman, dkk. (2015). *Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena Dalam Jumlah Besar*. Jurnal Fisika Indonesia. Bandung : Universitas Padjadjaran
- Zhang, Y.J., dkk. (2017). *A Novel Electroconductive Graphene / Fly ash Based Geopolymer Composite And Its Photocatalytic Performance*. *Chemical Engineering Journal*. DOI:10.1016/j.cej.2017.11.171.