

PENGARUH VARIASI JUMLAH TUMBUKAN TERHADAP NILAI MARSHALL HASIL PEMADATAN PADA ASPAL HRS-WC SECARA MANUAL DAN ELEKTRIK

Maria Laura Alviani Muda Makin¹, Egidius Kalogo², Krisantos Ria Bela^{2*}

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira, Jl. San Juan No.1 Penfui, Kupang, NTT, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira, Jl. San Juan No.1 Penfui, Kupang, NTT, Indonesia

email: krisantosbela@unwira.ac.id *

Abstrak: Pada penelitian ini, dilakukan analisis mengenai pengaruh jumlah tumbukan pemadatan terhadap kepadatan campuran aspal menggunakan metode Marshall pada campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil pemadatan antara metode manual dan elektrik. Dalam rangka mencapai hal tersebut, dilakukan variasi jumlah tumbukan, yaitu 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara metode pemadatan manual dan elektrik dalam parameter Marshall yang diamati. Terutama pada tumbukan sebanyak 2 x 75, terlihat adanya perbedaan yang mencolok dengan presentasi perbedaan stabilitas mencapai 2,505%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun metode pemadatan manual dan elektrik memberikan hasil yang relatif serupa dalam hal *Void In Mix* (VIM), *Void In Material Aggregate* (VMA), *Void Filled With Bitumen* (VFB), tetapi terdapat perbedaan yang signifikan dalam parameter stabilitas, *flow* (kelelehan), dan *Marshall Quotient* (MQ). Penelitian ini memiliki implikasi penting dalam praktek pemadatan aspal, dan dapat digunakan sebagai pedoman untuk memilih metode pemadatan yang paling sesuai dalam menghasilkan campuran aspal yang berkualitas optimal.

Kata Kunci: variasi jumlah tumbukan, metode marshall, HRS-WC, pemadatan manual, pemadatan elektrik.

Abstract: In this study, an analysis was conducted on the influence of the number of compaction impacts on the density of asphalt mixtures using the Marshall method on Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Thin Asphalt Concrete (Lataston) mixture. The main objective of this research is to compare the compaction results between manual and electric methods. To achieve this, variations in the number of impacts were performed, namely 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, and 2 x 75 impacts. The research results showed a significant difference between the manual and electric compaction methods in the observed Marshall parameters. Especially with 2 x 75 impacts, a noticeable difference was observed with a stability difference percentage of up to 2.505%. Therefore, it can be concluded that although the manual and electric compaction methods yield relatively similar results in terms of *Void In Mix* (VIM), *Void In Material Aggregate* (VMA), and *Void Filled With Bitumen* (VFB), there is a significant difference in stability, flow, and *Marshall Quotient* (MQ) parameters. This research has important implications in asphalt compaction practice and can be used as a guideline for selecting the most suitable compaction method to produce optimal quality asphalt mixtures.

Keywords: Variations in the number of collisions, Marshall Method, HRS-WC, Manual Compaction, Electric Compaction.

1. PENDAHULUAN

Jalan raya memegang peranan penting dalam distribusi barang dan jasa di suatu daerah, baik yang masuk maupun keluar [1]. Namun, kerusakan pada jalan raya juga dapat menjadi penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas yang

mengganggu laju perekonomian Indonesia. Deformasi jalan beraspal berupa alur (*ruts*) merupakan jenis kerusakan yang umum terjadi di jalan antar provinsi. Hal ini disebabkan oleh kurang baiknya pemadatan lapis perkerasan jalan sehingga saat terjadi repetisi beban lalu lintas dari kendaraan berat yang banyak

melintas, dapat menimbulkan deformasi [2]. Untuk mengurangi kecelakaan dan hambatan serta memperlancar arus lalu lintas, diperlukan standar perencanaan dan pekerjaan perkerasan jalan yang baik. Perencanaan jalan yang benar harus memenuhi kriteria dan unsur-unsur yang sesuai. Selain itu, faktor pemadatan juga harus diperhatikan selain kualitas material perkerasan jalan agar jalan dapat memikul beban lalu lintas dan berada dalam kondisi yang baik.

Pemadatan merupakan suatu proses mekanis yang bertujuan untuk merapatkan partikel solid, sehingga volume rongga dalam campuran mengecil dan kepadatan campuran meningkat. Proses ini juga melibatkan distribusi partikel agregat dalam campuran untuk mencapai konfigurasi agregat yang optimal demi mencapai kepadatan yang diinginkan. Metode Marshall adalah metode yang digunakan untuk menguji parameter yang diperlukan dalam proses tersebut [3].

Karakteristik lapisan aspal dalam pekerjaan jalan raya sangat dipengaruhi oleh jumlah tumbukan dan pemadatan aspal. Metode marshall digunakan dalam perancangan campuran beraspal panas untuk perkerasan lentur. Pemadatan sangat memengaruhi kekuatan campuran aspal, terutama nilai parameter marshall yang meliputi stabilitas, *flow* (kelelahan), *Void In Mix* (VIM), *Void In Material Aggregate* (VMA), *Void Filled With Bitumen* (VFB), dan *Marshall Quotient* (MQ). Parameter-parameter tersebut memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan dan keawetan campuran aspal.

Metode marshall digunakan di Indonesia untuk merancang campuran beraspal panas pada perkerasan lentur dengan batasan pemadatan benda uji sebanyak 2 x 50 tumbukan, dengan target rongga dalam campuran antara 4% hingga 6% dari kepadatan maksimum. Namun, setelah beberapa tahun dilalui oleh lalu lintas, rongga dalam campuran mengalami penyusutan di bawah batas yang ditetapkan, sehingga terjadi perubahan bentuk plastis. Dalam kondisi seperti itu, metode marshall dengan 2 x 50 tumbukan tidak lagi akurat untuk menciptakan kepadatan aspal maksimum [4].

Kepadatan campuran beraspal yang tidak merata dan mudah retak dapat terjadi jika pemadatan tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan. Kinerja campuran beraspal dapat terpengaruh baik dari segi umur pelayanan maupun dari segi kenyamanan. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan variasi jumlah tumbukan untuk mencapai kepadatan aspal maksimum dengan metode marshall. Variasi jumlah tumbukan yang dilakukan pada proses pemadatan untuk setiap contoh benda uji dalam penelitian ini adalah 2 x 25 tumbukan, 2 x 40 tumbukan, 2 x 50 tumbukan, 2 x 60 tumbukan dan 2 x 75 tumbukan.

Pada situasi di mana variasi pemadatan tidak mencapai campuran yang memenuhi parameter marshall dan tahan lama, aspal perlu disesuaikan dengan pemadatan agar dapat mengisi semua rongga dalam campuran. Jika terdapat rongga yang besar pada pemadatan, kemungkinan terjadi oksidasi dan retak pada badan jalan yang tidak dapat dihindari. Hal ini dapat memudahkan air masuk ke dalam konstruksi dan merusak perkerasan jalan tersebut.

Dalam proses pemadatan campuran aspal, terdapat variasi dalam jumlah tumbukan maupun jenis pemadatan yang digunakan. Pemadatan dapat dilakukan secara manual maupun menggunakan alat elektrik yang menghasilkan perbedaan dalam kepadatan campuran yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai marshall dari hasil pemadatan dengan variasi jumlah tumbukan pada campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC), serta membandingkan persentase perbedaan hasil pemadatan antara metode manual dan elektrik.

2. METODE

Pada penelitian ini, sampel material diambil dari *stockpile* milik PT. Bumi Indah tepatnya di *quarry* Takari Kabupaten Kupang meliputi agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ "), agregat sedang (batu pecah $\frac{1}{2}$ "), dan agregat halus (abu batu dan pasir). Metode pengambilan sampel agregat mengacu pada SNI 03-6889-2002 [5]. Sampel agregat kasar dan halus diambil dari tumpukan agregat hasil produksi *stone crusher*

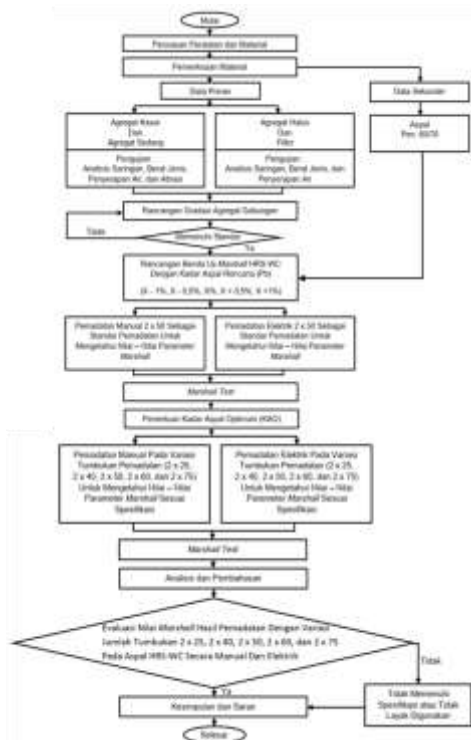
menggunakan peralatan seperti sekop, karung, meteran, tripleks, dan spidol. Cara pengambilannya adalah menentukan tempat pengambilan sampel agregat pada tempat timbunan. Setelah lokasi tumpukan material yang akan diambil ditentukan, panjang kemiringan tumpukan diukur dan dibagi menjadi tiga bagian (*systematic random sampling*) untuk mendapatkan sampel agregat yang mewakili seluruh material dari *quarry* Takari, kemudian sampel dimasukkan kedalam karung dan diberi tanda atau keterangan jenis material pada karung tersebut. Selanjutnya, sampel-sampel tersebut dibawa ke Laboratorium untuk dilakukan pengujian.

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada Laboratorium Pengujian dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

B. Prosedur Penelitian

Untuk mempermudah dan mempercepat pelaksanaan penelitian, telah disusun sebuah bagan alir metode penelitian. **Gambar 1** menunjukkan tahapan prosedur yang akan dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

C. Prosedur Pemeriksaan Agregat dan Aspal

Prosedur ini mengacu pada serangkaian langkah yang harus diikuti dalam melakukan pengujian kualitas agregat dan aspal yang akan digunakan dalam proyek konstruksi jalan. Langkah-langkah tersebut meliputi analisis saringan (SNI 03-1968-1990), pengukuran berat jenis dan penyerapan air (SNI 03-1969-1990), uji abrasi (SNI 03-2417-1991). Untuk pemeriksaan bahan pengikat (Aspal Penetrasi 60/70), akan digunakan data sekunder yang sudah tersedia.

D. Pengolahan dan Analisa Data

Analisis dan pengolahan data melibatkan penilaian terhadap karakteristik *Hot Rolled Sheet - Wearing Course* (HRS-WC) meliputi *Stability, Flow, Void in the Mix* (VIM), *Void in Mineral Agregat* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Kepadatan*, dan *Marshall Quotient* (MQ).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Material

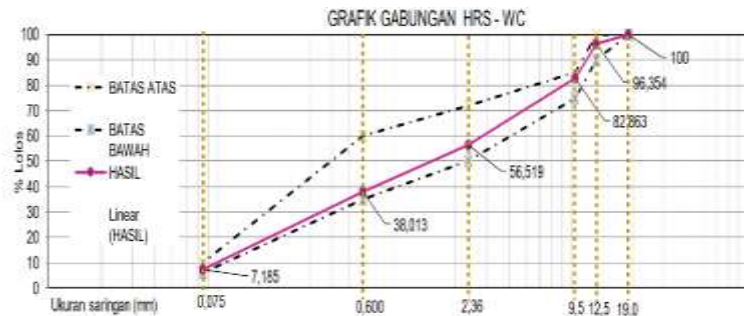
Berdasarkan pemeriksaan yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), didapatkan data hasil pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) dimana material yang diproduksi oleh PT. Bumi Indah menunjukkan kualitas yang baik dan memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 sehingga dapat digunakan dalam campuran aspal beton.

B. Rancang Gradasi Agregat Gabungan

Komposisi agregat gabungan dibuat dengan tujuan untuk menentukan persentase yang optimal dari masing-masing fraksi agar dapat memperoleh perkiraan kadar aspal (Pb), yang juga dikenal sebagai kadar aspal tengah. Penentuan proporsi campuran untuk jenis HRS-WC dilakukan melalui metode coba-coba (*trial and error*). Dengan menggunakan pendekatan ini, dapat ditentukan presentase campuran yang

ideal dari setiap agregat dalam campuran HRS-WC, yang akan digunakan dalam proses pencampuran. Dari perhitungan proporsi campuran yang telah dilakukan, dapat disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan batasan spesifikasi pada jenis campuran HRS-

WC. Grafik tersebut mencakup gradasi senjang maupun semi-senjang, dan hasil analisis agregat menunjukkan bahwa gradasi semi-senjang memenuhi persyaratan yang ditetapkan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Gradasi Agregat Gabungan Lataston HRS-WC

C. Penentuan Kadar Aspal Rencana (P_b)

Kadar aspal dalam campuran aspal beton adalah jumlah aspal efektif yang melapisi butir-butir agregat, mengisi pori-pori agregat, dan juga meliputi aspal yang terserap ke dalam pori-pori butir agregat. Perhitungan kadar aspal rencana dapat dilakukan setelah mendapatkan gradasi agregat gabungan dari setiap fraksi agregat yang memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 3.

Hasil analisis menunjukkan bahwa persentase lolos saringan untuk masing-masing gradasi butiran adalah sebagai berikut: agregat kasar (CA) sebesar 43,481%, agregat halus (FA) sebesar 49,334%, dan *filler* (FF) sebesar 7,185%. Dalam perhitungan ini, digunakan konstanta (k) dengan nilai 2,00 untuk lataston.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, kadar aspal rencana (P_b) yang diperoleh adalah sebesar 7,04% yang dibulatkan menjadi 7,00% sehingga ditetapkan 5 (lima) variasi, yaitu kadar aspal 2 (dua) dibawah P_b dan 2 (dua) di atas P_b dengan selisih 0,5% antara lain 6,0%, 6,5%, 7,0% , 7,5% dan 8,0%.

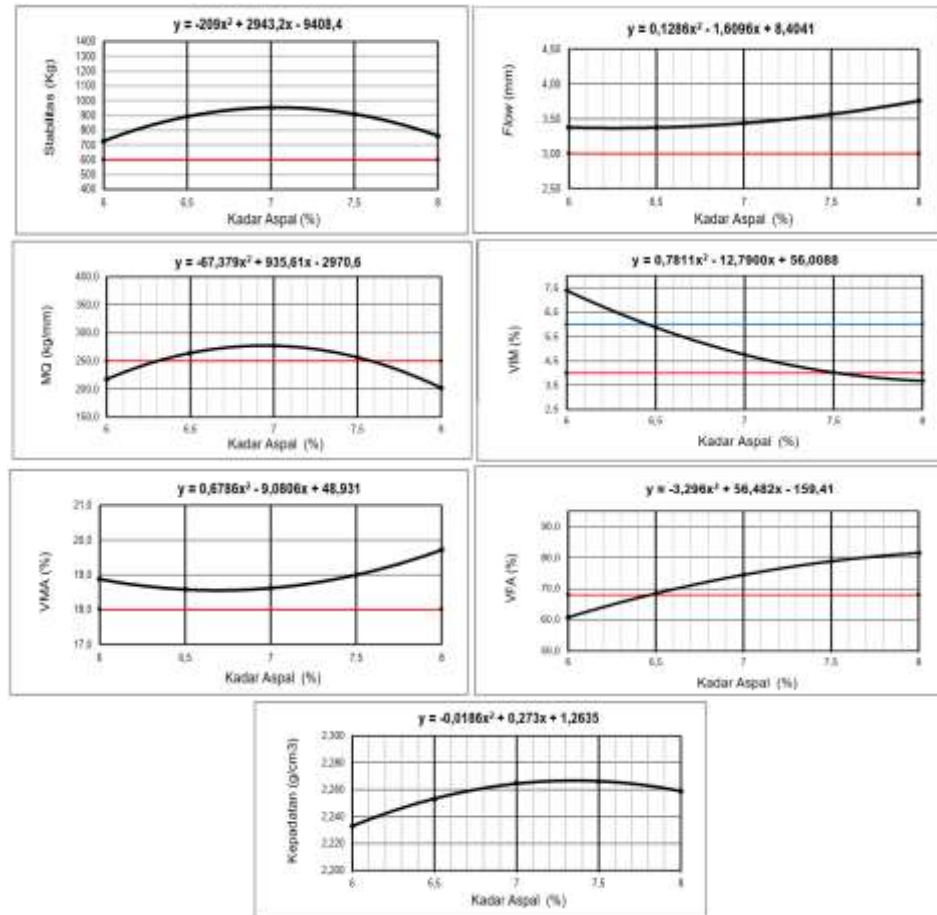
D. Marshall Test

1. Marshall Test Secara Manual Dengan Pemadatan Standar (2x50) Tumbukan

Pada Tabel 3, terdapat hasil pengujian Marshall secara manual menggunakan pemadatan standar 2 x 50 tumbukan dengan material *quarry* Takari untuk campuran Lataston HRS-WC.

Tabel 3. Rangkuman Hasil Pengujian Marshall Secara Manual Dengan Pemadatan Standar (2x50) Tumbukan

Kadar Aspal (%)	Parameter Marshall						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (kg)	Kepadatan (g/cm^3)
Spesifikasi	Min 600	Min 3	Min 250	4,0 – 6,0	Min 18	Min 68	-
6.00 %	726,80	3,38	217,42	7,39	18,88	60,83	2,23
6.50 %	892,15	3,37	264,10	5,88	18,58	68,47	2,25
7.00 %	953,00	3,44	277,10	4,76	18,62	74,46	2,27
7.50 %	909,35	3,56	256,41	4,02	19,00	78,81	2,27
8.00 %	761,20	3,76	202,02	3,68	19,72	81,50	2,26



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Aspal Rencana Terhadap Parameter *Marshall* Secara Manual Dengan Pemadatan Standar (2 x 50) Tumbukan

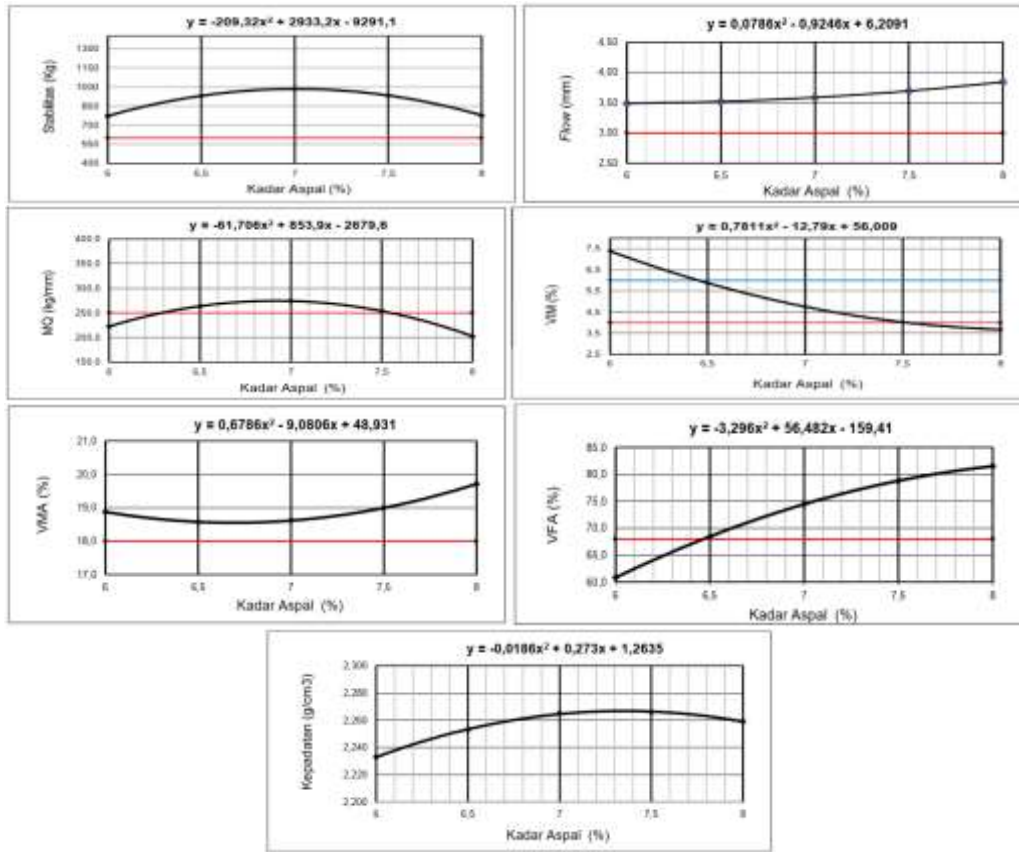
2. *Marshall Test* Secara Elektrik Dengan Pemadatan Standar (2x50) Tumbukan

Pada Tabel 4, terdapat hasil pengujian Marshall secara elektrik menggunakan

pemadatan standar 2 x 50 tumbukan dengan material *quarry* Takari untuk campuran Lataston HRS-WC.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Pengujian Marshall Secara Elektrik Dengan Pemadatan Standar (2x50) Tumbukan

Kadar Aspal (%)	Parameter <i>Marshall</i>						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (kg)	Kepadatan (g/cm ³)
Spesifikasi	Min 600	Min 3	Min 250	4,0 – 6,0	Min 18	Min 68	-
6.00 %	772,58	3,49	222,38	7,39	18,88	60,83	2,23
6.50 %	930,93	3,52	263,67	5,88	18,58	68,47	2,25
7.00 %	984,62	3,59	274,11	4,76	18,62	74,46	2,27
7.50 %	933,65	3,69	253,69	4,02	19,00	78,81	2,27
8.00 %	778,02	3,84	202,42	3,68	19,72	81,50	2,26

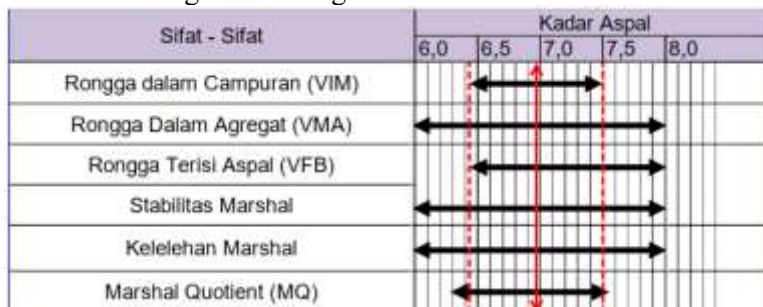


Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Aspal Rencana Terhadap Parameter *Marshall* Secara Elektrik Dengan Pemadatan Standar (2 x 50) Tumbukan

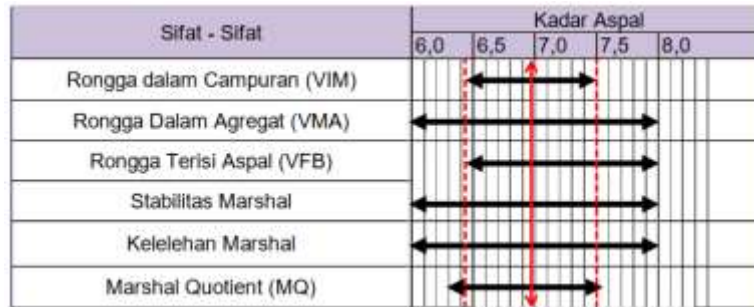
E. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum (KAO) merupakan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran seperti stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, VFA, dan kepadatan. Penentuan kadar aspal optimum dilakukan dengan membuat diagram batang

menggunakan hasil pengujian Marshall, kemudian menentukan KAO pada titik tengah rentang kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Adapun diagram batang yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut ini :



Gambar 5. Diagram Batang KAO Pemadatan Manual 2 x 50 Tumbukan



Gambar 6. Diagram Batang KAO Pematatan Elektrik 2 x 50 Tumbukan

Seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa kadar aspal yang memenuhi ke 6 (enam) sifat campuran pada rentang kadar aspal 6.00 % hingga 8.00 %, nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh untuk pematatan manual 2x50 tumbukan adalah 6.98 %. dan pematatan elektrik 2x50 tumbukan adalah 6.98 %. Dengan memperhatikan hasil KAO yang didapat dari kedua jenis pematatan tersebut maka dapat dikatakan bahwa KAO untuk pematatan manual maupun pematatan elektrik memiliki nilai KAO yang sama yaitu 6.98 %.

F. Rancang Benda Uji *Marshall* HRS-WC Dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan nilai kadar aspal optimum (KAO) yang telah diperoleh (6.98%), kemudian digunakan sebagai acuan dalam melakukan analisa perhitungan berat setiap campuran pada variasi jumlah tumbukan pematatan, yakni 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75.

G. *Marshall Test*

1. *Marshall Test* Secara Manual Dengan Variasi Jumlah Tumbukan

Hasil pengujian *Marshall* dengan menggunakan pematatan secara manual menggunakan material *quarry* Takari pada campuran Lataston HRS-WC, dengan variasi jumlah tumbukan dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini :

Tabel 5. Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall* Secara Manual Dengan Variasi Jumlah Tumbukan

Jumlah Tumbukan	Parameter <i>Marshall</i>						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (kg)	Kepadatan (g/cm ³)
Spesifikasi	Min 600	Min 3	Min 250	4,0 – 6,0	Min 18	Min 68	-
25	607,707	4,600	132,354	5,485	19,205	71,440	2,246
40	774,264	3,600	215,309	5,034	18,819	73,255	2,257
50	1017,535	3,600	283,306	4,242	18,142	76,617	2,276
60	1073,804	3,750	286,415	3,954	17,896	77,906	2,283
75	1138,138	3,700	308,693	2,793	16,904	84,118	2,310

2. *Marshall Test* Secara Elektrik Dengan Variasi Jumlah Tumbukan

Hasil pengujian *Marshall* dengan menggunakan pematatan secara elektrik

menggunakan material *quarry* Takari pada campuran Lataston HRS-WC, dengan variasi jumlah tumbukan dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini :

Tabel 6. Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall* Secara Elektrik Dengan Variasi Jumlah Tumbukan

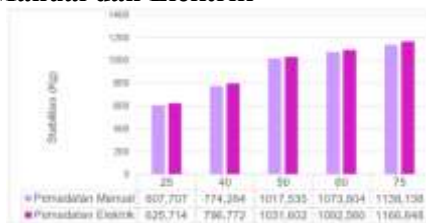
Jumlah Tumbukan	Parameter <i>Marshall</i>						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (kg)	Kepadatan (g/cm ³)
Spesifikasi	Min 600	Min 3	Min 250	4,0 – 6,0	Min 18	Min 68	-
25	625,714	4,700	133,368	5,485	19,205	71,440	2,246
40	796,772	3,650	218,559	5,034	18,819	73,255	2,257

Jumlah Tumbukan	Parameter Marshall						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (kg)	Kepadatan (g/cm ³)
Spesifikasi	Min 600	Min 3	Min 250	4,0 – 6,0	Min 18	Min 68	-
50	1031,602	3,675	281,102	4,242	18,142	76,617	2,276
60	1092,560	3,800	287,614	3,954	17,896	77,906	2,283
75	1166,648	3,800	307,918	2,793	16,904	84,118	2,310

H. Evaluasi Nilai Marshall Hasil Pemadatan Dengan Variasi Tumbukan Secara Manual dan Elektrik

Nilai parameter-parameter Marshall yang dihasilkan dalam pengujian dievaluasi berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3. Evaluasi dilakukan untuk menentukan jumlah tumbukan pemadatan yang sesuai. Jumlah tumbukan pemadatan yang sesuai berarti jumlah tumbukan tersebut harus memenuhi persyaratan nilai parameter-parameter Marshall yang ditentukan.

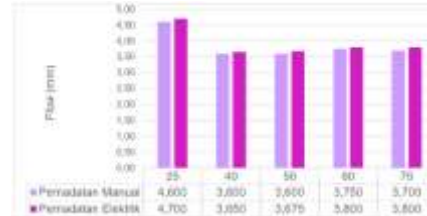
1. Evaluasi Nilai Stabilitas Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik



Gambar 7. Grafik Evaluasi Stabilitas Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 7, pemadatan elektrik menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi daripada pemadatan manual pada tumbukan 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75. Pada tumbukan 2 x 75, pemadatan elektrik menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbukan lainnya. Semakin banyak jumlah tumbukan yang diberikan, semakin tinggi stabilitas yang dihasilkan. Perbedaan stabilitas antara pemadatan manual dan elektrik disebabkan oleh kestabilan alat penumbuk pada pemadatan elektrik yang lebih baik. Semua tumbukan memenuhi standar minimum stabilitas sebesar 600 Kg yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

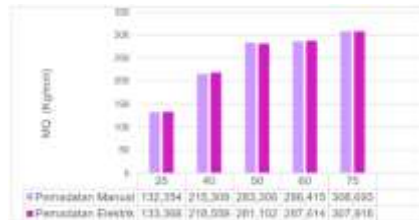
2. Evaluasi Nilai Flow Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik



Gambar 8. Grafik Evaluasi Flow Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 8, pemadatan elektrik menghasilkan *flow* yang lebih tinggi daripada pemadatan manual pada tumbukan 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75. Pada tumbukan 2 x 25, pemadatan elektrik menghasilkan *flow* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbukan lainnya. Jumlah tumbukan yang sedikit menyebabkan penurunan *flow* yang signifikan. Perbedaan ini disebabkan oleh kestabilan alat penumbuk yang lebih baik dalam pemadatan elektrik. Pada pemadatan manual, *flow* yang dihasilkan lebih kecil karena perubahan kecepatan saat mengangkat *hammer* penumbuk. Semua nilai *flow* dari tumbukan memenuhi standar minimum *flow* sebesar 3,0 mm yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

3. Evaluasi Nilai Marshall Quotient (MQ) Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik



Gambar 9. Grafik Evaluasi Marshall Quotient (MQ) Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 9, pemadatan elektrik menghasilkan nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang sedikit lebih tinggi daripada pemadatan manual pada tumbukan 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75. Pada tumbukan 2 x 75, pemadatan elektrik menghasilkan MQ yang lebih tinggi daripada tumbukan lainnya. Semakin banyak jumlah tumbukan, perbandingan stabilitas dan *flow* yang dihasilkan semakin tinggi. Perbedaan ini disebabkan oleh kestabilan alat penumbuk yang lebih baik pada pemadatan elektrik. Pada pemadatan manual, perubahan kecepatan saat mengangkat *hammer* penumbuk dapat mempengaruhi nilai MQ. Nilai MQ dari tumbukan 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75 memenuhi standar minimum MQ sebesar 250 Kg/mm yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3. Namun, nilai MQ dari tumbukan 2 x 25 dan 2 x 40 masih di bawah standar minimum.

4. Evaluasi Nilai *Void In Mix* (VIM) Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik

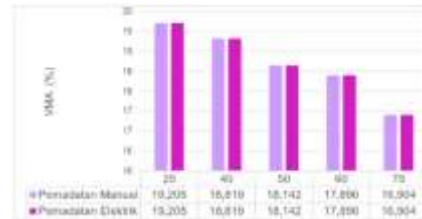


Gambar 10. Grafik Evaluasi *Void In Mix* (VIM) Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 10, tidak ada perbedaan signifikan antara pemadatan elektrik dan manual dalam hal nilai VIM (*Void in Mix*). Pada semua tumbukan yang diamati (2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75), baik pemadatan elektrik maupun manual menghasilkan nilai VIM yang relatif serupa. Pada tumbukan 2 x 75, nilai VIM sedikit di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, yaitu 6%. Namun, nilai VIM dari tumbukan 2 x 25, 2 x 40, dan 2 x 50 memenuhi kriteria batas maksimum dan minimum VIM, yaitu antara 4% hingga 6%. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan, rongga yang

terbentuk dalam campuran semakin berkurang atau terisi oleh aspal.

5. Evaluasi Nilai *Void In The Mineral Aggregates* (VMA) Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik



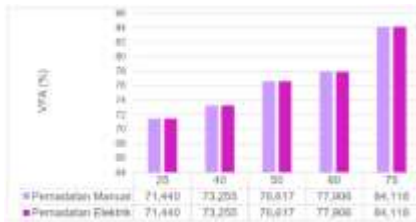
Gambar 11. Grafik Evaluasi *Void In The Mineral Aggregates* (VMA) Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 11, tidak ada perbedaan signifikan antara pemadatan elektrik dan manual dalam hal nilai VMA (*Void in The Mineral Aggregates*). Pada semua tumbukan yang diamati (2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75), baik pemadatan elektrik maupun manual menghasilkan nilai VMA yang relatif serupa. Pada tumbukan 2 x 75, nilai VMA sedikit di bawah batas minimum yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, yaitu 18%. Namun, nilai VMA dari tumbukan 2 x 25, 2 x 40, dan 2 x 50 memenuhi batas minimum VMA. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan, rongga di antara agregat dalam campuran semakin sedikit. Rongga-rongga tersebut tertutup karena peningkatan jumlah tumbukan.

6. Evaluasi Nilai *Void Filled With Asphalt* (VFA) Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 12, tidak ada perbedaan signifikan antara pemadatan elektrik dan manual dalam hal nilai VFA (*Void Filled with Asphalt*). Pada semua tumbukan yang diamati (2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75), baik pemadatan elektrik maupun manual menghasilkan nilai VFA yang relatif serupa. Pada tumbukan 2 x 75, nilai VFA lebih tinggi daripada tumbukan 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, dan 2 x 60. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan, semakin banyak pula rongga

yang terisi oleh aspal dalam campuran. Nilai VFA dari tumbukan 2 x 25, 2 x 40, dan 2 x 50 memenuhi batas minimum yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, yaitu 68%.



Gambar 12. Grafik Evaluasi *Void Filled With Asphalt* (VFA) Pemadatan Manual dan Elektrik

7. Evaluasi Nilai Kepadatan Hasil Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Manual dan Elektrik



Gambar 13. Grafik Kepadatan Pemadatan Manual dan Elektrik

Berdasarkan data pada Gambar 13, tidak ada perbedaan signifikan antara pemadatan elektrik dan manual dalam hal nilai kepadatan. Pada semua tumbukan yang diamati (2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 75), baik pemadatan elektrik maupun manual menghasilkan nilai kepadatan yang relatif serupa. Pada tumbukan 2 x 75, nilai kepadatan lebih tinggi dibandingkan dengan tumbukan 2 x 25, 2 x 40, 2 x 50, dan 2 x 60. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tumbukan, semakin tinggi pula kepadatan yang tercapai dalam campuran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian, analisa, dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Perbedaan presentasi antara pemadatan manual dan elektrik pada tumbukan 2 x 25 adalah 2,963% untuk stabilitas, 2,174% untuk *flow*, dan 0,766% untuk MQ. Namun, tidak ada perbedaan yang terlihat pada VIM, VMA, dan VFA.
- Perbedaan presentasi antara pemadatan manual dan elektrik pada tumbukan 2 x 40 adalah 2,907% untuk stabilitas, 1,389% untuk *flow*, dan 1,509% untuk MQ. Tidak ada perbedaan yang terlihat pada VIM, VMA, dan VFA.
- Perbedaan presentasi antara pemadatan manual dan elektrik pada tumbukan 2 x 50 adalah 1,382% untuk stabilitas, 2,083% untuk *flow*, dan -0,778% untuk MQ. Tidak ada perbedaan yang terlihat pada VIM, VMA, dan VFA.
- Perbedaan presentasi antara pemadatan manual dan elektrik pada tumbukan 2 x 60 adalah 1,747% untuk stabilitas, 1,333% untuk *flow*, dan 0,419% untuk MQ. Tidak ada perbedaan yang terlihat pada VIM, VMA, dan VFA.
- Perbedaan presentasi antara pemadatan manual dan elektrik pada tumbukan 2 x 75 adalah 2,505% untuk stabilitas, 2,703% untuk *flow*, dan -0,251% untuk MQ. Tidak ada perbedaan yang terlihat pada VIM, VMA, dan VFA.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Mujib and S. B. Utomo, "REVIEW DESIGN GEOMETRIK JALAN STUDI KASUS 'LETTER S' RUAS JALAN KAMPAK-MUNJUNGAN KECAMATAN KAMPAK KABUPATEN TRENGGALEK," in *Prosiding Forum Ilmiah Nasional Teknik*, 2022, pp. 1–10.
- F. Yudaningrum and I. Ikhwanudin, "IDENTIFIKASI JENIS KERUSAKAN JALAN (Studi Kasus Ruas Jalan Kedungmundu-Meteseh)," *Teknika*, vol. 12, no. 2, 2017.
- L. Sriharyani and A. Tholib, "Perubahan Parameter Marshall Akibat Perbedaan Jumlah Tumbukan pada Asphalt Concrete-Binder Coarse (AC-BC) Gradasi Kasar," *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 53–65, 2019.
- Bina Marga, "Spesifikasi Umum," Jakarta, Sep. 2018.

- [5] D. ASTM, “75 (SNI 03-6889-2002),”
Tata cara Pengambilan Contoh Uji

Agregat.