

Analisis kinerja mekanik dan volumetrik campuran AC-WC dengan metode pemadatan *marshall* dan *gyratory*

Giri Widhiatmoko^{1,*}

¹ Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

AC-WC
Marshall
Gyratory
Mechanical Performance
Volumetric

Corresponding Author:

Giri Widhiatmoko
225104605@uii.ac.id

Abstract

The increasing number of motor vehicles in Indonesia has driven the need for stronger and higher-performance road infrastructure. One of the most important factors in asphalt concrete mix design is the compaction process, as it significantly affects the mechanical and volumetric characteristics of the mixture. The Marshall compaction method has long been used as a conventional standard; however, the Gyratory compaction method has emerged as a more modern alternative due to its ability to simulate field compaction conditions more realistically through a combination of vertical pressure and rotational motion. This study aimed to analyze the differences in the mechanical and volumetric characteristics of AC-WC mixtures using Marshall and Gyratory compaction methods. The research was conducted experimentally at the Highway Laboratory of Universitas Islam Indonesia through several stages, including literature review, testing of aggregate and asphalt characteristics, specimen preparation based on compaction type, and Marshall characteristic testing. The results showed that the Gyratory compaction method produced better mechanical characteristics than the Marshall method, indicated by a 16.68% increase in stability value and a 4.9% decrease in flow value. In terms of volumetric characteristics, Gyratory compaction resulted in lower VITM and VMA values and higher VFWA values, indicating that the mixture became denser, more homogeneous, more stable, and more representative of field compaction conditions compared to the Marshall compaction method.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia merupakan dampak langsung dari kemajuan di sektor ekonomi, pembangunan infrastruktur, dan faktor-faktor pendukung lainnya. Hal ini sekaligus menekankan betapa pentingnya pembangunan infrastruktur jalan yang kokoh dan efisien sebagai penunjang utama mobilitas warga dan aktivitas perekonomian. Pertumbuhan kepemilikan kendaraan sangat cepat, terlihat dari selisih data hanya dalam dua tahun: dari 148 juta unit (BPS, 2022) menjadi 164 juta

unit (Korlantas Polri, 2024), mencerminkan penambahan 16 juta unit kendaraan dalam periode tersebut. Dengan perkembangan kendaraan yang signifikan maka diperlukan perkembangan dari segi perkerasan jalan, salah satunya adalah perkembangan dalam pembuatan sampel di Laboratorium. Salah satu faktor penting dalam pembuatan sampel beton aspal adalah proses pemadatan. Pemadatan sampel campuran aspal di laboratorium adalah proses yang sangat penting dalam desain campuran dan pengendalian kualitas perkerasan jalan yang

bertujuan mensimulasikan kondisi pemadatan di lapangan untuk mencapai karakteristik kepadatan dan rongga yang optimal. Secara historis, metode Pemadatan *Marshall*, yang dikembangkan oleh *Bruce Marshall* pada akhir 1930-an dan dipopulerkan oleh U.S. Army Corps of Engineers, telah menjadi standar global selama beberapa dekade. Metode ini menggunakan palu tumbuk yang dijatuhkan berulang kali ke dalam cetakan silinder, dan hasilnya dianalisis berdasarkan parameter stabilitas dan kelelahan (*flow*). Namun, dengan adanya tuntutan akan perkerasan yang lebih tahan lama, metode Pemadatan *Gyratory* muncul sebagai alternatif unggul sebagai bagian integral dari sistem desain *Superpave* (*Superior Performing Asphalt Pavements*) yang dikembangkan melalui program SHRP.

Ruth & West (1995) menjelaskan bahwa pemadatan dengan alat *gyratory* merupakan kombinasi dari tekanan vertikal statis dan gerakan rotasi pada sudut dengan kemiringan tertentu yang menghasilkan struktur campuran yang lebih realistik. Struktur ini mencakup partikel yang menyerupai kondisi perkerasan aktual, sehingga sifat – sifat benda uji di laboratorium secara signifikan mendekati sifat perkerasan di lapangan. Keunggulan dari pemadatan *gyratory* ini adalah kontrol yang presisi dimana pemadatan ditentukan secara spesifik dari tingkat kepadatan yang akan dicapai (*target density*), tinggi benda uji, maupun jumlah putaran (*Number of Gyration*s).

Di Indonesia, perkembangan pemadat *Gyratory* merupakan bagian dari upaya modernisasi standar jalan nasional, di mana Kementerian PUPR melalui Balitbang mulai mengadopsi standar pengujian kinerja tinggi menggunakan aspal *Performance Grade* untuk proyek-proyek penting seperti jalan nasional dan bandara. Alat *Gyratory* kini telah digunakan di banyak laboratorium unggulan salah satunya di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia dalam mendesain campuran aspal kinerja tinggi. Meskipun menghadapi tantangan

biaya investasi dan pelatihan sumber daya manusia, adopsi *Gyratory* menjadi langkah penting dalam transisi dari standar *Marshall* menuju sistem yang lebih modern dan akurat demi peningkatan mutu infrastruktur jalan di Indonesia.

Adapun dari penjelasan diatas dirumuskan bahwa penggunaan alat pemadatan yang berbeda juga menghasilkan karakteristik campuran yang berbeda. Untuk mengetahui perbedaan karakteristik mekanik dan volumetrik pada campuran beton aspal AC-WC dengan jenis pemadatan, maka dilakukan penelitian Analisis Kinerja Mekanik dan Volumetrik Campuran AC-WC dengan Metode Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*.

Aspek Kebaharuan

Aspek kebaruan penelitian ini terletak pada kajian komparatif terhadap karakteristik mekanis dan volumetrik campuran aspal yang dipadatkan menggunakan metode *Marshall* dan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) pada kondisi material dan spesifikasi yang umum digunakan di Indonesia. Meskipun metode *Gyratory* telah banyak diterapkan di negara-negara maju, penerapannya di Indonesia masih relatif terbatas dan penelitian yang secara langsung membandingkan kedua metode pemadatan pada campuran lokal masih sedikit dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh perbedaan mekanisme pemadatan terhadap parameter stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), dan karakteristik volumetrik campuran aspal.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan melaksanakan serangkaian kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia. Beberapa tahapan dalam penelitian ini meliputi pencarian studi pustaka,

pengumpulan sumber/referensi, pengujian karakteristik bahan seperti agregat dan aspal, pembuatan sampel berdasarkan jenis pemadatanya, dan pengujian karakteristik Marshall.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

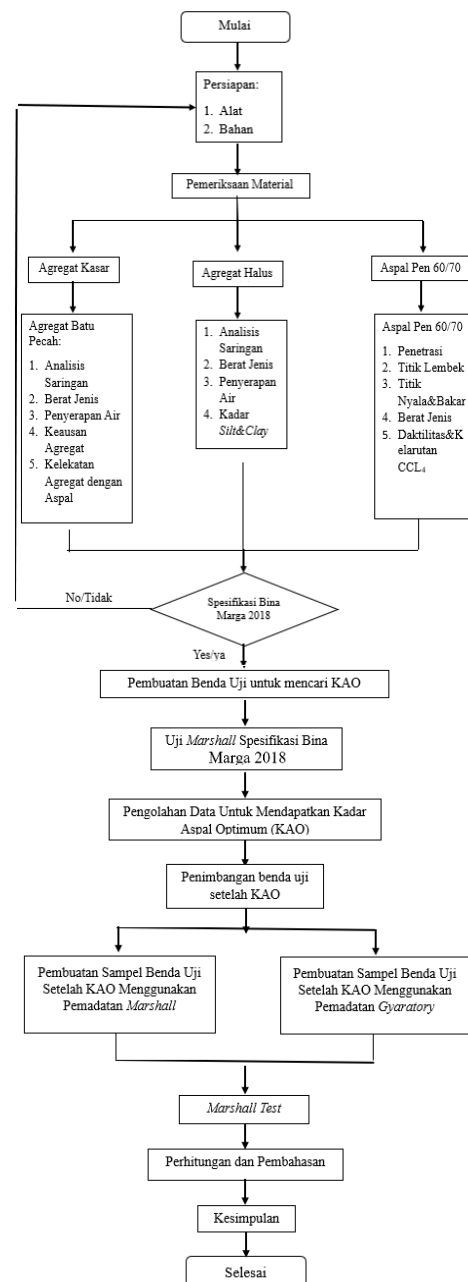
1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Melakukan pengujian karakteristik gregat kasar, halus, dan aspal yang digunakan
3. Melakukan pengujian karakteristik agregat kasar, halus, dan aspal yang digunakan
4. Melakukan perencanaan *Job Mix Formula*, yang merupakan proporsi agregat dalam campuran beton aspal.
5. Menghitung Kadar Aspal Perkiraan, dan melakukan perhitungan proporsi agregat dengan pengurangan aspal 1% kebawah serta penambahan 1% keatas setiap 0,5%.
6. Menimbang agregat sesuai dengan perencanaan yang telah ditentukan sebelumnya.
7. Pembuatan benda uji *Marshall* dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.
8. Menimbang dan mengukur benda uji, kemudian merendamnya dalam bak air selama 16 hingga 24 jam.
9. Menimbang benda uji dalam keadaan terendam di air, serta dalam kondisi permukaan kering yang jenuh.
10. Merendam benda uji dalam waterbath pada suhu 60°C selama 30 menit untuk keperluan pengujian *Marshall*.
11. Mengolah data dari pengujian *Marshall* yang meliputi stabilitas, kelelahan, *Void Mineral Aggregate (VMA)*, *Void In The Total Mix (VITM)*, dan *Void Filled With Asphalt (VFWA)*.
12. Setelah pengujian didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), lalu dilakukan penimbangan serta pembuatan benda uji setelah KAO dengan variasi kadar serbuk ban karet

13. Pembuatan benda uji menggunakan kedua metode pemadatan yaitu Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory* merek Galileo.

14. Melakukan pengujian *Marshall*.

15. Penarikan Kesimpulan dan saran.

Adapun bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Penentuan proporsi agregat ac-wc

Penentuan proporsi agregat campuran AC-WC pada penelitian ini digunakan gradasi agregat berdasarkan batas atas dan batas bawah sesuai spesifikasi, kemudian ditentukan gradasi rencana ideal yang berada pada posisi tengah dari rentang gradasi tersebut. Pemilihan gradasi di batas tengah dilakukan untuk memperoleh distribusi ukuran agregat yang seimbang sehingga campuran memiliki stabilitas, *workability*, dan durabilitas yang optimal.

Selain itu, gradasi tengah dipilih karena mampu meminimalkan kemungkinan campuran terlalu halus maupun terlalu kasar, yang dapat mempengaruhi nilai rongga udara, rongga dalam agregat mineral, serta kebutuhan kadar aspal.

Adapun Rencana Proporsi Campuran Berdasarkan Amplop Gradasi Campuran AC-WC dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Proporsi Campuran Berdasarkan Amplop Gradasi Campuran AC-WC

Ukuran Saringan	Lolos Saringan (%)			Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal masing2 (%)
	Maksimum	Minimum	Tengah		
3/4"	100	100	100	0	0
1/2"	100	90	95	5	5
3/8"	90	77	83,5	16,5	11,5
No.4	69	53	61	39	22,5
No. 8	53	33	43	57	18
No. 16	40	21	30,5	69,5	12,5
No. 30	30	14	22	78	8,5
No. 50	22	9	15,5	84,5	6,5
No. 100	15	6	10,5	89,5	5
No. 200	9	4	6,5	93,5	4
Pan				100	6,5

Berdasarkan amplop gradasi diatas didapatkan bahwa proporsi agregat campuran AC-WC yang digunakan sebesar

Agrgat Kasar (CA)

$$= 5\% + 11,5\% + 22,5\%$$

$$= 39,00 \%$$

Agregat Halus (FA)

$$= 18\% + 12,5\% + 8,5\% + 6,5\% + 5\% + 4\%$$

$$= 54,5 \%$$

Filler

$$= 6,50 \%$$

Dengan proporsi agregat yang sudah ditetapkan, maka diperlukan perhitungan

kadar aspal perkiraan menggunakan persamaan 3.1 seperti berikut ini.

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + F$$

$$Pb = 0,035 (39 \%) + 0,045 (54,5 \%) + 0,18 (6,5 \%) + 1$$

$$Pb = 5,98 \%$$

dibulatkan menjadi 6 %

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai kadar aspal perkiraan (Pb) campuran AC-WC sebesar 5,98% yang kemudian dibulatkan menjadi 6% sebagai kadar aspal tengah. Selanjutnya, dilakukan pembuatan benda uji untuk pencarian Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal sebesar $\pm 1\%$ dari kadar aspal tengah, menggunakan interval kenaikan dan

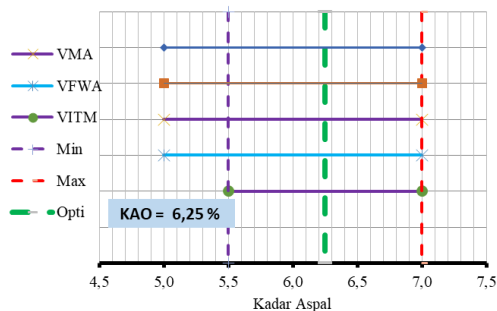
penurunan sebesar 0,5%. Oleh karena itu, variasi kadar aspal yang digunakan dalam

penelitian ini yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Hasil rekapitulasi pengujian karakteristik Marshall untuk mencari KAO dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini

Tabel 2. Rekapitulasi Karakteristik *Marshall* Mencari Nilai KAO

Kadar Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)
5 %	852	2,390	356,49	5,80	65,71	14,344
5,5 %	965	2,557	377,44	4,96	71,17	14,65
6 %	1021	2,993	341,09	4,53	74,62	15,32
6,5 %	947	3,397	278,80	4,19	77,44	16,06
7 %	906	3,910	231,71	3,77	80,38	16,73
Spesifikasi	min 800	2 - 4	200 - 350	3 - 5	min 65	min 15



Gambar 1. Grafik Penentuan KAO

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *Marshall* seperti Gambar 1, maka didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,25%. Dengan menggunakan KAO ini dilakukan pembuatan sampel AC-WC menggunakan metode pemadatan Marshall dan pemadatan *Gyratory*.

Penggunaan dua metode pemadatan tersebut bertujuan untuk membandingkan pengaruh proses pemadatan terhadap kinerja campuran beraspal, khususnya dalam menggambarkan kondisi pemadatan di lapangan. Setelah itu dilakukan peninjauan terhadap karakteristik volumetrik dan mekanik dari sampel yang telah dibuat. Karakteristik volumetrik yang dianalisis meliputi nilai VITM, VMA, dan VFA, sedangkan karakteristik mekanik ditinjau melalui parameter Stabilitas, Flow, dan *Marshall Quotient* (MQ).

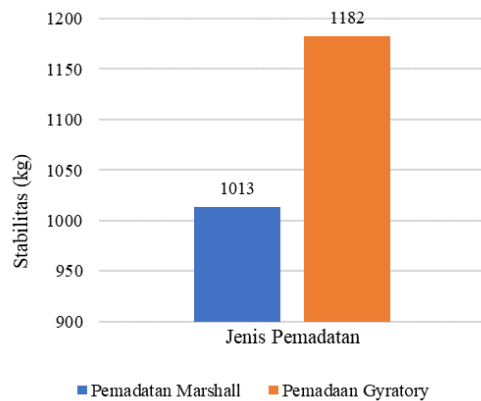
Hasil rekapitulasi pengujian sampel AC-WC dengan pemadatan *marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sampel AC-WC Dengan Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory*

Sampel	Stabilitas (kg)		Flow (mm)		MQ (kg/mm)		VITM (%)		VMA (%)		VFWA (%)	
	PM	PGY	PM	PGY	PM	PGY	PM	PGY	PM	PGY	PM	PGY
1	1011	1167	3,14	2,99	321,63	389,87	4,34	4,09	15,77	15,55	76,28	77,39
2	1008	1196	3,15	2,96	320,00	404,05	4,33	4,13	15,77	15,59	76,32	77,20
3	1021	1184	3,11	2,98	328,65	396,87	4,38	4,08	15,81	15,55	76,11	77,43
Rata-rata	1013	1182	3,133	2,979	323,427	396,931	4,350	4,100	15,784	15,564	76,238	77,339
Spek	min 800		3 - 5		200 - 350		3 - 5		min 15		min 65	

* PM = Pemadatan Marshall, dan PGY = Pemadatan *Gyratory*

Hasil pengujian mekanik pada Pemadatan *Gyratory* lebih baik dari pada Pemadatan *Marshall* yang dapat dilihat pada Gambar 2 – Gambar 4 berikut ini.

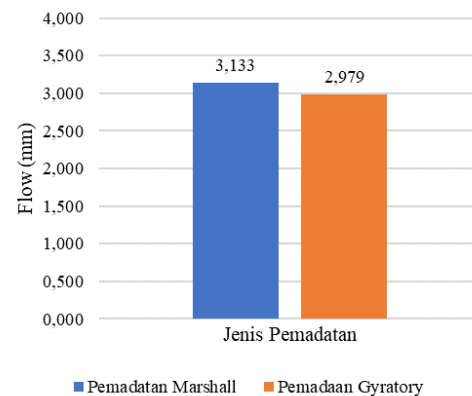


Gambar 2. Grafik Hasil Stabilitas dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

Berdasarkan grafik stabilitas dapat diketahui bahwa campuran AC-WC dengan metode pemadatan *Marshall* memiliki nilai stabilitas sebesar 1013 kg, sedangkan pada metode pemadatan *Gyratory* diperoleh nilai sebesar 1182 kg. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pemadatan *Gyratory* mampu menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan pemadatan *Marshall*. Hal ini dikarenakan pada proses pemadatan *Gyratory* yang menghasilkan struktur agregat lebih padat dan distribusi rongga yang lebih merata, sehingga daya ikat antara agregat dan aspal menjadi semakin baik. Oleh karena itu, campuran AC-WC dengan pemadatan *Gyratory* diperkirakan memiliki performa yang lebih baik dalam menahan deformasi permanen dibandingkan campuran yang dipadatkan menggunakan metode *Marshall*.

Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan penelitian Widhiatmoko (2025), yang menyatakan bahwa campuran beraspal menggunakan aspal PEN maupun PG dengan metode pemadatan *Gyratory* menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemadatan konvensional. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pemadatan

Gyratory mampu menghasilkan struktur campuran yang lebih padat dan homogen. Penelitian Sersam dan Jumaah (2016) menunjukkan bahwa pemadatan *Gyratory* menghasilkan stabilitas campuran lebih tinggi dibandingkan *Marshall* karena mampu meningkatkan kontak dan *interlocking* agregat, sehingga ketahanan deformasi dan beban berulang menjadi lebih baik.

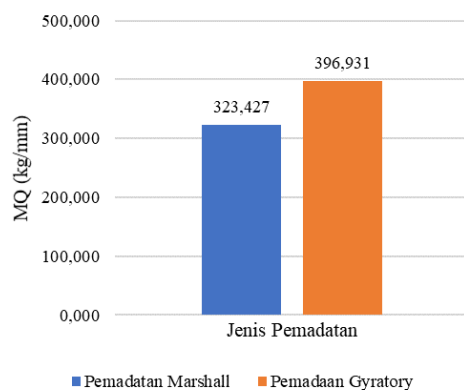


Gambar 3. Grafik Hasil *Flow* dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

Berdasarkan Gambar 3 nilai *Flow* (mm) pada campuran yang dipadatkan menggunakan metode *Marshall* memiliki nilai *flow* sebesar 3,133 mm, sedangkan campuran dengan metode *Gyratory* menunjukkan nilai *flow* yang lebih rendah, yaitu 2,979 mm. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa campuran hasil pemadatan *Marshall* cenderung memiliki tingkat deformasi yang lebih besar sebelum mengalami kerusakan, sehingga sifat campuran menjadi lebih fleksibel. Sementara itu, nilai *flow* yang lebih kecil pada pemadatan *Gyratory* menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat kekakuan dan stabilitas yang lebih baik dalam menahan deformasi permanen akibat pembebanan. Hal ini sesuai dengan penelitian Widhiatmoko (2025) dimana nilai *flow* pada pemadatan *Marshall* lebih besar dari pada pemadatan *Gyratory* baik pada aspal PEN 60/70 maupun PG 70.

Secara teknis, rendahnya nilai *flow* pada metode *Gyratory* dipengaruhi oleh

mekanisme pemadatan yang menggunakan tekanan dan gerakan rotasi secara simultan, sehingga menghasilkan *interlocking* agregat yang lebih optimal dan distribusi rongga udara yang lebih seragam sehingga struktur campuran menjadi lebih padat. Sebaliknya, metode *Marshall* menggunakan tumbukan vertikal yang cenderung menghasilkan orientasi agregat yang kurang homogen, sehingga campuran masih memiliki ruang deformasi yang lebih besar ketika menerima beban. Meskipun demikian, nilai *flow* dari kedua metode tersebut masih berada dalam rentang spesifikasi umum campuran aspal, sehingga keduanya tetap memenuhi persyaratan kelenturan dan durabilitas campuran perkerasan

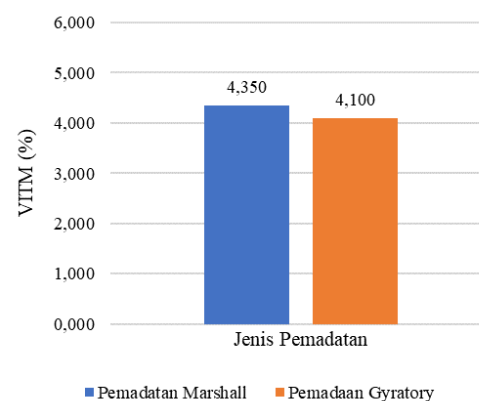


Gambar 4. Grafik Hasil *Marshall Quotient* dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

Berdasarkan Gambar 4 hasil *Marshall Quotient* (MQ) dengan metode Pemadatan *Marshall* memiliki nilai MQ sebesar 323,427 kg/mm, sedangkan campuran dengan metode Pemadatan *Gyratory* menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 396,931 kg/mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran yang dipadatkan menggunakan metode *Gyratory* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan deformasi dibandingkan campuran hasil pemadatan *Marshall*. *Marshall Quotient* merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*, sehingga semakin tinggi nilai MQ menunjukkan campuran memiliki tingkat kekakuan dan ketahanan deformasi permanen yang lebih baik.

Secara teknis, tingginya nilai MQ pada metode *Gyratory* dipengaruhi oleh proses pemadatan yang menghasilkan struktur agregat lebih rapat dan saling mengunci (*interlocking*) secara optimal. Gerakan rotasi dan tekanan secara kontinu pada pemadatan *Gyratory* mampu membentuk distribusi rongga udara yang lebih seragam sehingga meningkatkan stabilitas campuran sekaligus menurunkan nilai *flow*. Sebaliknya, metode *Marshall* yang menggunakan sistem tumbukan vertikal menghasilkan nilai MQ yang lebih rendah karena susunan agregat belum memiliki tingkat kepadatan seperti metode *Gyratory*, sehingga campuran masih memiliki tingkat deformasi yang lebih besar saat menerima pembebanan. Dengan demikian, hasil grafik menunjukkan bahwa metode pemadatan *Gyratory* cenderung menghasilkan performa campuran aspal yang lebih baik dalam aspek kekakuan dan stabilitas struktural perkerasan jalan.

Hasil pengujian Volumetrik campuran AC-WC menggunakan pemadatan *Gyratory* lebih baik dari pada menggunakan pemadatan *Marshall*. Adapun hasil mekanik dapat dilihat pada Gambar 5 – Gambar 7 berikut ini



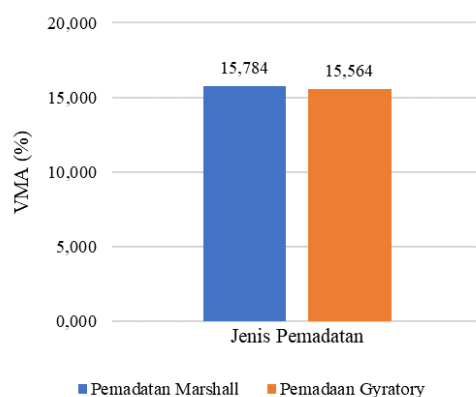
Gambar 5. Grafik Hasil VITM dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

Berdasarkan Gambar 5 hasil *Voids in the Mix* (VITM) pada campuran dengan metode Pemadatan *Marshall* memiliki nilai VITM sebesar 4,350%, sedangkan metode Pemadatan *Gyratory* sebesar 4,100%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran

hasil pemadatan *Gyratory* memiliki rongga udara yang lebih kecil dibandingkan metode *Marshall*. Hal ini menandakan bahwa pemadatan *Gyratory* menghasilkan kepadatan campuran yang lebih baik dan susunan agregat yang lebih rapat.

Penelitian yang dilakukan oleh Lokesh dkk. (2014) menunjukkan bahwa nilai *Void in Total Mix* (VITM) pada campuran yang dipadatkan menggunakan metode *Marshall* cenderung lebih tinggi dibandingkan campuran dengan pemadatan *Gyratory* pada kadar aspal yang sama. Hasil tersebut menandakan bahwa metode pemadatan *Gyratory* mampu menghasilkan struktur campuran yang lebih padat dan memiliki rongga udara yang lebih kecil dibandingkan metode *Marshall*.

Secara volumetrik, nilai VITM menunjukkan persentase rongga udara dalam campuran aspal setelah pemadatan. Rongga udara yang lebih rendah pada metode *Gyratory* dapat meningkatkan ketahanan campuran terhadap masuknya air dan udara sehingga durabilitas perkerasan menjadi lebih baik. Kondisi ini dipengaruhi oleh mekanisme pemadatan *Gyratory* yang menggunakan tekanan dan rotasi secara bersamaan sehingga distribusi agregat dan aspal menjadi lebih homogen dibandingkan metode *Marshall* yang menggunakan tumbukan vertikal.



Gambar 6. Grafik Hasil VMA dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

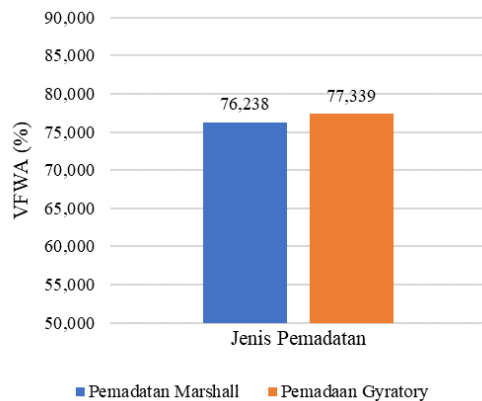
Berdasarkan Gambar 6 nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) pada campuran dengan

pemadatan *Marshall* sebesar 15,784%, sedangkan pada pemadatan *Gyratory* sebesar 15,564%. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa kedua metode pemadatan menghasilkan nilai VMA yang relatif hampir sama, namun pemadatan *Gyratory* memiliki nilai VMA sedikit lebih rendah dibandingkan *Marshall*. Penurunan nilai VMA pada metode *Gyratory* menunjukkan bahwa proses pemadatan dengan tekanan dan rotasi yang menyerupai kondisi pemadatan di lapangan mampu menghasilkan susunan agregat yang lebih rapat sehingga rongga antar agregat menjadi lebih kecil.

Penelitian yang dilakukan oleh Widhiatmoko (2025) menunjukkan bahwa nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) pada campuran yang dipadatkan menggunakan metode *Marshall* cenderung lebih kecil, baik pada penggunaan aspal PEN 60/70 maupun aspal PG 70. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa proses pemadatan *Marshall* menghasilkan susunan agregat yang lebih rapat sehingga ruang kosong di antara agregat menjadi lebih sedikit. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Searsam dan Jummah (2016), yang menyatakan bahwa nilai VMA mengalami penurunan rata-rata hingga sekitar 2%. Penurunan nilai VMA menunjukkan bahwa volume rongga antar agregat yang tersedia untuk menampung aspal menjadi lebih kecil akibat meningkatnya tingkat kepadatan campuran.

Secara volumetrik, nilai VMA menggambarkan volume rongga antar butir agregat dalam campuran yang terdiri dari rongga udara dan aspal efektif. Nilai VMA yang lebih rendah pada pemadatan *Gyratory* mengindikasikan bahwa struktur agregat lebih padat dan tingkat *interlocking* antar agregat lebih baik dibandingkan metode *Marshall*. Hal ini terjadi karena pemadatan *Gyratory* memberikan efek geser selama proses pemadatan, sehingga agregat dapat menyesuaikan posisi dan membentuk struktur yang lebih stabil. Sementara itu, pada pemadatan *Marshall*, energi tumbukan

cenderung menghasilkan susunan agregat yang sedikit lebih longgar sehingga nilai VMA menjadi lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Hasil VFWA dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

Grafik VFWA (%) menunjukkan bahwa nilai *Void Filled with Asphalt* (VFWA) pada campuran dengan pemadatan *Marshall* sebesar 76,238%, sedangkan pada pemadatan *Gyratory* sebesar 77,339%. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa metode pemadatan *Gyratory* menghasilkan nilai VFWA yang sedikit lebih tinggi dibandingkan metode *Marshall*. Kenaikan nilai VFWA ini menunjukkan bahwa persentase rongga dalam agregat yang terisi oleh aspal efektif pada campuran *Gyratory* lebih besar, sehingga campuran menjadi lebih padat dan memiliki rongga udara yang lebih kecil.

Secara volumetrik, VFWA merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan aspal dalam mengisi rongga antar agregat setelah proses pemadatan. Nilai VFWA yang lebih tinggi pada pemadatan *Gyratory* berkaitan dengan proses pemadatan yang menghasilkan susunan agregat lebih rapat dan stabil. Pemadatan *Gyratory* bekerja dengan kombinasi tekanan vertikal dan gerakan rotasi yang menyerupai kondisi pemadatan di lapangan, sehingga agregat dapat saling mengunci (*interlocking*) dengan lebih baik dan rongga udara berkurang. Akibatnya, proporsi rongga agregat yang terisi aspal menjadi lebih besar

dibandingkan pemadatan *Marshall* yang menggunakan metode tumbukan.

Hasil pengujian dilakukan perhitungan signifikansi dimana untuk melihat apakah perbedaan pemadatan mempengaruhi karakteristik *Marshall* nya. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil pengujian, parameter stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), dan VITM menunjukkan perbedaan yang signifikan antara metode pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*. Pemadatan *Gyratory* yang menggunakan kombinasi tekanan dan gerakan rotasi mampu menghasilkan susunan agregat yang lebih rapat dan lebih menyerupai kondisi pemadatan akibat lalu lintas di lapangan. Akibatnya, kemampuan campuran dalam menahan beban (stabilitas) dan kekakuan campuran (MQ) meningkat, sedangkan nilai rongga udara dalam campuran (VITM) menjadi lebih rendah secara nyata dibandingkan metode *Marshall*

Sebaliknya, parameter flow, VMA, dan VFWA menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara kedua metode pemadatan. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan metode pemadatan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kemampuan deformasi plastis campuran, volume rongga antar agregat, maupun persentase rongga yang terisi aspal.

Tabel 4. Rekapitulasi Signifikansi Karakteristik *Marshall* Pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory*

	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)
Pemadatan <i>Marshall</i>	1013	3,133	323,427	4,35	15,784	76,238
Pemadatan <i>Gyratory</i>	1182	2,979	396,931	4,1	15,564	77,339
Selisih	169	0,154	73,504	0,25	0,22	1,101
Persen (%)	16,68	4,92	22,73	5,75	1,39	1,44
Keterangan	Signifikan	Tidak Signifikan	Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan	Tidak Signifikan

Kontribusi Penelitian

Kontribusi spesifik dari penelitian ini adalah menyediakan data dan informasi ilmiah seperti penyajian data diatas serta yang dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan metode desain campuran aspal di Indonesia, khususnya dalam mendukung transisi dari pendekatan *Marshall* menuju pendekatan Superpave yang lebih representatif terhadap kondisi pemadatan dan pembebanan di lapangan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi akademisi, praktisi, dan instansi terkait dalam mengevaluasi kesesuaian penggunaan metode *Gyratory* pada desain perkerasan jalan di Indonesia guna meningkatkan kinerja, umur layanan, dan keandalan struktur perkerasan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, metode Pemadatan *Gyratory* menunjukkan karakteristik campuran aspal yang lebih baik dibandingkan Pemadatan *Marshall*, baik dari aspek mekanis maupun volumetrik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ) yang lebih tinggi serta nilai *flow*, VMA, dan VITM yang lebih rendah, disertai nilai VFWA yang lebih tinggi. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pemadatan *Gyratory* menghasilkan struktur agregat yang lebih rapat, rongga udara yang lebih sedikit, dan pengisian aspal

efektif yang lebih optimal, sehingga campuran menjadi lebih padat, stabil, dan lebih tahan terhadap deformasi permanen. Dengan demikian, metode *Gyratory* dinilai lebih representatif dalam menggambarkan kondisi pemadatan campuran aspal di lapangan dibandingkan metode *Marshall*.

Adapun kesimpulan dari hasil pengujian penelitian ini antara lain.

1. Hasil karakteristik Mekanik pada campuran menggunakan pemadatan *Gyratory* lebih tinggi dari pemadatan *Marshall*.
2. Hasil karakteristik Volumetrik pada campuran menggunakan pemadatan *Gyratory* lebih berkurang dari sisi VITM dan VMA serta lebih besar dari sisi VFWA.
3. Untuk Stabilitas meningkat sebesar 16,68%, *Flow* menurun 4,9%, VITM menurun sebesar 5,75%, VMA menurun 1,39%, VFWA meningkat 1,44%.

Daftar Pustaka

- Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 3)*. Jakarta., Indonesia.
- Lokesh, Y., Dr. M. S. Amarnath, D. M. S. A., & Dr. Manjesh. L, D. M. L. (2011). A Comparative Study on The Effect of Compaction on Strength and Physical Properties of Stone Matrix Asphalt Compacted by Marshall Compaction and Superpave Gyratory Compaction Methods. *Indian Journal of Applied Research*, 4(7), 209–

211.

<https://doi.org/10.15373/2249555x/july2014/64>

- Putra, M. T., Destania, H. R., & Febryandi, F. (2023). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Aspal Modifikasi pada Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC) dengan Penambahan Serbuk Ban Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 335–350. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5580>
- Ruth, B.E. and R.C. West. 1995. *Compaction and Strength of Stone Matrix Asphalt Mixtures in the Gyratory Testing Machine*, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technology, Vol. 64, pp. 33 – 45.
- Sarsam, S. I., & Jumaah, M. K. (2016). Modeling of Comparative Performance of Asphalt Concrete under Hammer, Gyratory, and Roller Compaction. *Journal of Engineering*, 22(11), 1–15. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2016.11.01>
- Widhiatmoko, G. (2025). *Studi Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave dengan Penambahan Serbuk Ban Karet pada Aspal Pen 60/70 dan Aspal PG70 Menggunakan Metode Pemadatan Marshall dan Gyratory* (Tesis).