

STUDI EKSPERIMENTAL SUBSTITUSI PASIR SUNGAI DAN ACROPORA TERHADAP AGREGAT HALUS UNTUK CAMPURAN BERASPAL AC-WC

Patrick Frenthorico Maulias, Amelia Makmur
Civil Engineering, Kristen Krida Wacana University, Jakarta
e-mail: frentho30@gmail.com, amelia@ukrida.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan infrastruktur jalan telah meningkatkan permintaan untuk bahan bangunan. Biaya tinggi dan waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi agregat halus dari batu pecah, bersama dengan ketersediaan pasir sungai yang melimpah dan murah, memberikan peluang untuk bahan alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pasir sungai sebagai substansi agregat halus dan limbah *Acropora* sebagai aditif dalam campuran aspal beton aus (AC-WC). Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), serta tingkat substitusi pasir sungai sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%, dikombinasikan dengan limbah *Acropora* sebesar 1%, 2%, dan 3%. Uji *Marshall* dilakukan sesuai dengan SNI 06-2489-1991 untuk mengevaluasi kinerja campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi 25% pasir sungai dan 1% limbah *Acropora* menghasilkan stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi, memenuhi spesifikasi Bina Marga. Proporsi pasir sungai yang lebih tinggi menyebabkan penurunan nilai stabilitas dan MQ. Penambahan limbah *Acropora* juga berkontribusi pada peningkatan daya rekat dalam campuran. Oleh karena itu, campuran aspal yang memanfaatkan pasir sungai dan limbah *Acropora* berpotensi sebagai bahan konstruksi alternatif, terutama di daerah dengan akses terbatas terhadap agregat halus konvensional.

Kata kunci: Aspal, Pasir Sungai, Limbah *Acropora*, AC-WC. *Marshall Test*.

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah suatu sarana pada lalu lintas yang sangat penting. Selain beton, aspal juga merupakan bahan yang sering dipergunakan dalam pembuatan konstruksi perkerasan jalan, tepatnya pada bagian lapis permukaan dikarenakan kelebihannya itu bersifat elastis disaat menerima suatu beban kendaraan dan memiliki ketahanan. Pertumbuhan lalu lintas ini yang selalu berkembang bisa memberikan suatu dampak untuk pembangunan pada struktur perkerasan jalan, serta penggunaan material yang akan dipakai. Pada perkerasan jalan memiliki tiga jenis lapisan yaitu laston perkerasan yang terletak di bagian paling atas (AC-WC) yang berfungsi sebagai lapisan aus. Laston pengikat perkerasan (AC-BC) yang terletak dibawah lapisan aus (*Wearing Course*) dan diatas lapisan pondasi (*Base Course*) (Prayogo, et al. 2018, p. 2). Pada penelitian ini ditinjau pada lapisan paling atas (AC-WC).

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan antara lain lalu lintas yang padat, kualitas konstruksi perkerasan, air, iklim, serta kondisi tanah dasar yang sudah tidak stabil. Selain itu, proses pemadatan yang kurang baik pada lapisan diatas tanah juga turut berpengaruh. Kerusakan jalan disebabkan karena pada lapisan perkerasan jalan terdapat adanya genangan air. Hal ini disebabkan karena adanya kedap air pada lapisan perkerasan, karena terjadi hal itu jadi air tidak mampu keluar ke lapisan bagian bawah perkerasan, dan akan mengalir ke suatu sistem aliran drainase (Siang & Makmur, 2020, p. 1).

Semakin banyaknya proyek pembangunan infrastruktur, kebutuhan material konstruksi juga meningkat. Maka itu, diperlukan alternatif sumber material lain, salah satunya dengan memanfaatkan bahan alam yang tersedia di sekitar lokasi proyek. Salah satu contohnya adalah penggunaan pasir sungai sebagai agregat halus dalam campuran AC-WC. Penggunaan material ini diharapkan dapat membantu mengatasi keterbatasan bahan, sekaligus menghemat waktu dan biaya pelaksanaan konstruksi jalan (Raharmadi, 2017, p. 2).

Penggunaan pasir alam juga dapat langsung digunakan sebagai bahan konstruksi. Pasir alam yang dimaksud yaitu seperti pasir gunung atau pasir sungai. Di daerah yang terdapat aliran sungai dapat mendapatkan pasir alam dengan mudah daripada agregat halus dari hasil ayakan batu pecah, karena untuk mendapatkan pasir alam tidak perlu adanya proses pemecahan batu. Dari segi biaya, penggunaan pasir alam lebih murah dibandingkan agregat halus dari batu pecah karena tidak memerlukan proses pemecahan (Sentosa & Domel, 2014, p. 1).

Peningkatan pertumbuhan mengakibatkan pada volume lalu lintas yang semakin padat sehingga prasarana transportasi dan material yang dibutuhkan juga meningkat. Penggunaan material baru untuk bahan campuran beraspal telah banyak dilakukan sebagai alternatif material disaat terdapat banyaknya permintaan bahan campuran. Pasir sungai menjadi alternatif untuk membuat perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas serta pengaruhnya terhadap material campuran beraspal AC-WC (Pataras, et al, 2017, p. 1).

Beban yang bisa diterima pada perkerasan jalan yaitu beban transportasi berupa roda kendaraan dan pada jalan bisa dapat memberikan kenyamanan pada saat berkendara diatas permukaan. Adapun terdapat tiga jenis perkerasan jalan, yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan semi kaku (Sukirman, 2016). Lapis permukaan jalan juga dikatakan sebagai lapis perkerasan yang secara langsung menerima beban lalu lintas. Pada aspal konfesional

agregat halus yang dipakai yaitu abu batu bukan pasir, maka itu pada penelitian ini berbeda, karena aspal konfesional yang menggunakan agregat halus (abu batu) diganti dengan pasir sungai desa Wayari, Kota Ambon jadi subtitusi pasir sungai serta bahan tambahan yaitu limbah *acropora*. Campuran beraspal dengan subtitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* yang untuk dapat mengetahui besar pada peningkatan nilai stabilitas, apakah sudah memenuhi nilai parameter uji *Marshall Test* serta kelebihan dan kekurangan yang ada pada komposisi/campuran beraspal. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan komposisi campuran aspal yang baik dengan harga dan material yang terjangkau. (Patty & Makmur, 2018, p. 1).

Kegiatan pekerjaan aspal di Indonesia sering menggunakan agregat halus yang di proses menggunakan *stone crusher* yang mengakibatkan lamanya proses pekerjaan untuk menghasilkan agregat halus. Pada case ini, pasir sungai tersedia dalam jumlah yang besar sebagai salah satu bahan material agregat halus. Dengan demikian, pasir sungai dapat digunakan sebagai alternatif material untuk dijadikan subtitusi pasir sungai dengan agregat halus untuk lapis perkerasan paling atas (AC-WC). Hal ini dilakukan karena ketersediaan pasir sungai yang banyak dan memiliki biaya yang murah. Perumusan masalah ini difokuskan pada, bagaimana nilai karakteristik *Marshall* terhadap campuran beraspal yang menggunakan subtitusi pasir sungai dengan agregat halus dan bahan tambahan limbah *acropora*, dan berapa kadar aspal optimum (KAO) yang diperlukan pada campuran beraspal dengan variasi presentase penggunaan subtitusi pasir sungai dengan agregat halus dan limbah *acropora* serta pengaruh penggunaan pasir sungai dan limbah *acropora* merupakan metode alternatif sebagai material pengganti agregat halus untuk lapis perkerasan paling atas (AC-WC).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh subtitusi pasir sungai dengan agregat halus dan limbah *acropora* sebagai bahan tambahan terhadap agregat halus untuk lapis perkerasan paling atas (AC-WC) dan diuji dalam parameter *Marshall Test*. Sedangkan manfaat dari kajian ini adalah memanfaatkan pasir sungai sebagai agregat halus khususnya pada infrasruktur jalan. Adapun perbedaan penelitian ini dengan yang lain dikarenakan pasir sungai yang digunakan ini bukan sebagai pengganti agregat halus tetapi subtitusi pasir sungai dengan agregat halus, serta adanya bahan tambahan limbah *acropora*. Maka itu dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa layak subtitusi pasir sungai dengan agregat halus. Dikarenakan ketersediaan pengambilan agregat untuk campuran beraspal minim kota Ambon, maka dari itu tujuan penelitian ini untuk bisa dapat dijadikan pasir sungai untuk disubtitusikan dengan agregat halus.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan untuk penelitian ini adalah metode eksperimental, secara khusus membahas tentang perkerasan paling atas AC-WC. Pengujian dilakukan mengacu pada metode pengujian *Marshall Test* berdasarkan SNI 06-2489-1991. Penelitian yang dilakukan secara langsung di laboratorium teknik jalan raya, Teknik Sipil Ukrida. Pembuatan campuran beraspal dengan subtitusi kadar pasir sungai dan agregat halus yang digunakan adalah 25% = 155,60 gr, 50% = 311,20 gr, 75% = 466,80 gr, dan 100% = 622,40 gr, dengan bahan tambahan kadar limbah *acropora* adalah 1% = 12,00 gr, 2% = 24,00 gr dan 3% = 36,00 gr. Tahapan dalam proses penelitian ini mulai dari persiapan alat dan bahan, pembuatan benda uji, proses pengujian *Marshall*, pengumpulan data hingga analisis.

Penelitian ini untuk mengidentifikasi campuran beraspal terhadap campuran subtitusi pasir sungai dengan agregat halus dan bahan tambahan limbah *acropora* dengan meninjau parameter yang digunakan apakah sudah sesuai dengan syarat yang ditentukan. Jika aspal dengan campuran pasir sungai dan limbah *acropora* sudah memenuhi parameter maka pasir sungai dan limbah *acropora* dapat dimanfaatkan dan diteliti lebih lanjut untuk campuran beraspal. Setelah mendapatkan data dari penelitian maka dapat dianalisa mengenai campuran tersebut. Hasil data yang didapatkan akan dibandingkan dengan benda uji tanpa campuran pasir sungai dan limbah *acropora*, setelah itu jika perbandingan itu bisa digunakan maka pasir sungai dan limbah *acropora* dapat digunakan pada campuran beraspal.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan pengujian yang dilakukan untuk menentukan karakteristik material yang digunakan dalam campuran beraspal. Pengujian ini penting dilakukan guna memastikan kualitas agregat dan aspal sesuai dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan, sehingga campuran aspal yang dihasilkan memiliki kinerja optimal dalam perkerasan jalan. Proses pengujian mencakup beberapa parameter utama yang berpengaruh terhadap stabilitas, durabilitas, dan daya tahan campuran beraspal. Pengujian ini terdapat pengujian agregat dan pengujian aspal.

Pengujian agregat

Pada pengujian agregat ini terdiri dari agregat kasar dan halus, pengujian ini memiliki standar dari SNI dengan spesifikasi Bina Marga 2018. Data yang diperoleh dari pengujian ini terdapat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Material Agregat Kasar dan Halus

Pengujian Agregat	Standar	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Agregat Kasar				
Berat Jenis Bulk	SNI-1969-2016	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,53 gr/cm ³	Memenuhi
Penyerapan	SNI-1969-2016	Maks. 3%	1,58%	Memenuhi
Keausan Agregat	SNI-2471-2008	Maks. 40%	29,55%	Memenuhi
Agregat Halus				
Berat Jenis Bulk	SNI-1970-2016	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,50 gr/cm ³	Memenuhi
Penyerapan	SNI-1970-2016	Maks. 3%	2,34%	Memenuhi

Pada Tabel 1 terdapat pengujian pada agregat kasar yaitu berat jenis bulk, penyerapan, dan keausan, untuk agregat halus terdapat pengujian berat jenis bulk dan penyerapan. Pada hasil yang telah didapatkan ini, pada agregat kasar berat jenis bulk yaitu sebesar 2,53 gr/cm³ dengan penyerapan yaitu sebesar 1,58%. untuk pengujian keausan agregat kasar didapatkan hasil yaitu sebesar 29,55%. Pada agregat halus pengujian berat jenis bulk didapatkan hasil yaitu sebesar 2,50 gr/cm³ dan penyerapan yaitu sebesar 2,34%. Data yang sudah didapatkan pada tabel ini semua pengujian telah memenuhi persyaratan. Untuk syarat berat jenis agregat kasar dan agregat halus yaitu sebesar 2,50 gr/cm³, sedangkan untuk penyerapan agregat kasar dan agregat halus yaitu sebesar 3%, dan untuk keausan pada agregat kasar yaitu sebesar 40%.

Pengujian aspal

Pada pengujian aspal ini terdiri dari pengujian daktilitas, titik nyala, titik lembek, penyelimitan, berat jenis dan penetrasi. Serta pengujian ini memiliki standar dari SNI dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018. Data yang diperoleh dari pengujian ini terdapat pada Tabel 4.2 :

Tabel 2. Hasil Pengujian Material Aspal

Pengujian Aspal	Standar	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Daktilitas	SNI-2432-2011	$\geq 100 \text{ cm}$	140 cm	Memenuhi
Titik Nyala	SNI-2431-2011	$\geq 232^\circ$	298°	Memenuhi
Titik Lembek	SNI-2434-2011	$\geq 48^\circ$	48°	Memenuhi
Penyelimitan	SNI-2439-2011	Min. 95%	97%	Memenuhi
Berat Jenis	SNI-2441-2011	$\geq 1 \text{ gr/cm}^3$	1,041 gr/cm ³	Memenuhi
Penetrasi	SNI-2456-2011	60-70	68	Memenuhi

Pada Tabel 2 terdapat pengujian pada material aspal didapatkan daktilitas yaitu sebesar 140 cm, pengujian titik nyala dan titik lembek yaitu sebesar 298° dan 48°, penyelimitan didapatkan hasil yaitu sebesar 97%, berat jenis didapatkan hasil yaitu sebesar 1,041 gr/cm³ dan untuk penetrasi didapatkan hasil yaitu sebesar 68. Pada Tabel 4.2 pengujian daktilitas harus $\geq 100 \text{ cm}$, titik nyala dan titik lembek $\geq 232^\circ$ dan 48°, penyelimitan min. 95%, berat jenis aspal $\geq 1 \text{ gr/cm}^3$, dan pada pengujian penetrasi aspal harus 60-70. Maka itu dapat disimpulkan bahwa semua pengujian telah memenuhi persyaratan.

Perancangan campuran beraspal

Pada perancangan campuran beraspal ini telah direncanakan dilakukan pengolahan data untuk dapat menentukan berat kumulatif pada agregat dan aspal yang akan digunakan untuk membuat campuran beraspal dengan kadar aspal rencana yaitu 4,%,4,5%,5%,5,5%, dan 6%.

Tabel 3. Berat Kumulatif Aspal dan Agregat

Keterangan	Kadar 4,0%	Kadar 4,5%	Kadar 5,0%	Kadar 5,5%	Kadar 6,0%
Berat Benda Uji (gr)	1200	1200	1200	1200	1200
Kadar Aspal (%)	3,85	4,31	4,67	5,21	5,66

Keterangan	Kadar 4,0%	Kadar 4,5%	Kadar 5,0%	Kadar 5,5%	Kadar 6,0%
Berat Aspal (gr)	46,15	51,67	57,14	62,56	67,92
Berat Agregat (gr)	1153,85	1148,33	1142,86	1137,44	1132,08

Pada Tabel 3 didapatkan hasil perhitungan berat kumulatif aspal dan agregat untuk setiap kadar rencana aspal yang akan digunakan. Untuk total berat dari kadar 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, dan 6,0% pada setiap benda uji campuran beraspal yaitu sebesar 1200 gram. Kadar aspal yang digunakan setelah dilakukan koreksi dengan total berat benda uji yaitu pada kadar 4,0% sebesar 3,85%, kadar 4,5% sebesar 4,31%, kadar 5,0% sebesar 4,67%, kadar 5,5% sebesar 5,21%, dan kadar 6,0% sebesar 5,66%. Setelah kadar aspal yang sudah dikoreksi maka didapatkan berat aspal pada setiap kadar yaitu sebesar 46,15 gram, 51,67 gram, 57,14 gram, 62,56 gram, dan 67,92 gram. Pada berat agregat yang akan digunakan untuk campuran berdasarkan setiap kadar aspal yaitu sebesar 1153,85 gram, 1148,33 gram, 1142,86 gram, 1137,44 gram dan 1132,08 gram. Maka itu dari perhitungan berat kumulatif aspal dan agregat ini dapat digunakan untuk membuat campuran beraspal.

Karakteristik *marshall* campuran beraspal ac-wc

Pengujian *Marshall* dilakukan setelah dilakukan pembuatan benda uji berdasarkan kadar aspal yang direncanakan. Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas, *flow*, dan MQ dari campuran beraspal dan setelah itu hasilnya akan digunakan untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Pengujian *Marshall* menggunakan 3 benda uji untuk setiap kadar. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa masing-masing campuran beraspal berdasarkan variasi kadar aspal yang telah direncanakan.

Parameter stabilitas menunjukkan kekuatan campuran dalam menahan beban, sedangkan *flow* menunjukkan fleksibilitas atau deformasi yang terjadi saat campuran diberi beban. *Marshall Quotient* (MQ) sebagai hasil perbandingan antara stabilitas dan *flow*, digunakan untuk menilai kekakuan campuran. Nilai-nilai ini sangat penting karena menjadi dasar dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO), yaitu kadar aspal yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan dan kelenturan campuran. Selain itu, parameter lain seperti VIM (*Void in mix*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), dan VFB (*Void Filled with Bitumen*) semuanya juga dianalisis untuk menilai kualitas campuran aspal. VIM menunjukkan ruang kosong dalam campuran, VMA menggambarkan volume rongga antar agregat, dan VFB menunjukkan seberapa besar rongga tersebut terisi oleh aspal. Pada parameter ini berperan penting dalam menentukan daya tahan campuran, serta memengaruhi stabilitas dan kelenturan campuran aspal.

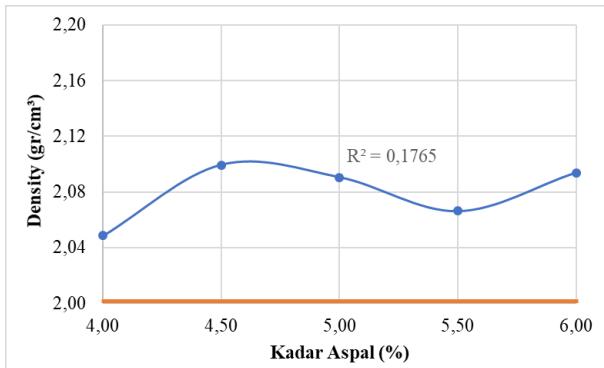
Tabel 4. Rekapitulasi Karakteristik Campuran Beraspal

Kadar Aspal (%)	Density (gram/cm ³)	Stability (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (%)
4,00	2,049	1631,10	3,37	18,87	5,91	68,78	494,57
4,50	2,099	1665,22	3,38	17,26	3,21	81,48	492,11
5,00	2,090	1556,23	3,15	18,00	3,51	80,90	494,06
5,50	2,066	1530,86	3,40	19,33	4,63	76,44	454,14
6,00	2,094	1594,04	3,33	18,64	4,46	76,17	478,48
Spesifikasi	≥2	≥800	2-4	≥15	3,00-5,00	≥65	250-500

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan hasil rekapitulasi dari data density, stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFB, MQ. Pada data tersebut semua mengacu pada persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu untuk density minimal 2 gr/cm³, stabilitas minimal 800kg, *flow* sebesar 2 – 4 mm, VMA minimal 15%, VIM sebesar 3 – 5%, VFB minimal 65%, dan MQ sebesar 250 – 500 kg/mm. Pada tabel diatas pada hasil density pada semua kadar didapatkan hasil yang telah memenuhi syarat, pada hasil stabilitas didapatkan semua kadar telah memenuhi syarat, pada hasil *flow* semua kadar telah memenuhi syarat, pada hasil VMA semua kadar memenuhi syarat, pada hasil VIM hanya kadar 4% yang tidak memenuhi syarat, pada hasil VFB semua kadar telah memenuhi syarat dan pada hasil MQ semua kadar juga telah memenuhi syarat.

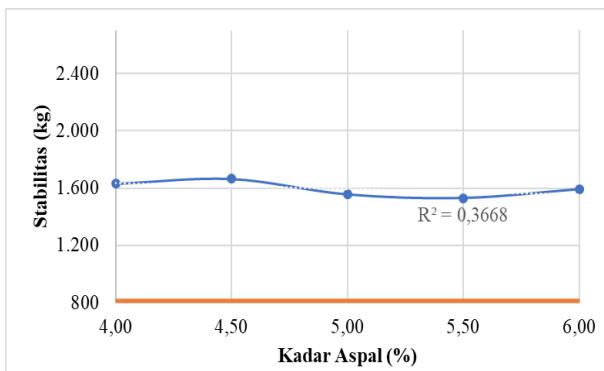
Setiap nilai parameter *Marshall* pada masing-masing kadar aspal yang diperoleh kemudian diplot dalam bentuk grafik untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan grafik hubungan antara kadar aspal dengan setiap parameter *Marshall*, seperti density, stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA dan MQ, sehingga dapat terlihat perubahan pada setiap variasi kadar aspal. Dari grafik tersebut kemudian dapat ditentukan kadar aspal optimum yang telah memenuhi spesifikasi.

Setiap nilai parameter *Marshall* pada masing-masing kadar aspal yang diperoleh kemudian diplot dalam bentuk grafik untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan grafik hubungan antara kadar aspal dengan setiap parameter *Marshall*, seperti *density*, stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA dan MQ, sehingga dapat terlihat perubahan pada setiap variasi kadar aspal. Dari grafik tersebut kemudian dapat ditentukan kadar aspal optimum yang telah memenuhi spesifikasi.



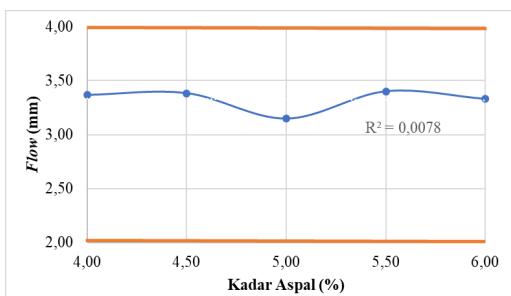
Gambar 1. Hubungan Kadar Aspal dengan *Density*

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui menunjukkan hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal. Stabilitas merupakan tingkat ketahanan campuran beraspal pada saat menahan beban. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi kenaikan pada kadar 4,00% - 4,50%, dan mengalami penurunan pada kadar 5,00% - 5,50%. Nilai stabilitas pada semua kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu ≥ 800 kg dengan hasil nilai pada kadar 4,00% yaitu sebesar 1631,10 kg, kadar 4,50% 1665,22 kg, kadar 5,00 sebesar 1556,23 kg, kadar 5,50% sebesar 1530,04 kg, dan kadar 6,00% sebesar 1594,04 kg.



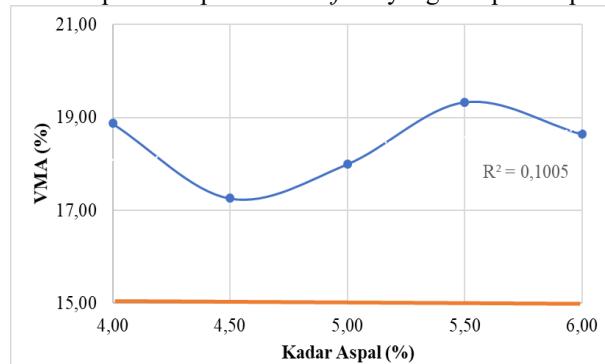
Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui menunjukkan hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal. Stabilitas merupakan tingkat ketahanan campuran beraspal pada saat menahan beban. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi kenaikan pada kadar 4,00% - 4,50%, dan mengalami penurunan pada kadar 5,00% - 5,50%. Nilai stabilitas pada semua kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu ≥ 800 kg dengan hasil nilai pada kadar 4,00% yaitu sebesar 1631,10 kg, kadar 4,50% 1665,22 kg, kadar 5,00 sebesar 1556,23 kg, kadar 5,50% sebesar 1530,04 kg, dan kadar 6,00% sebesar 1594,04 kg.



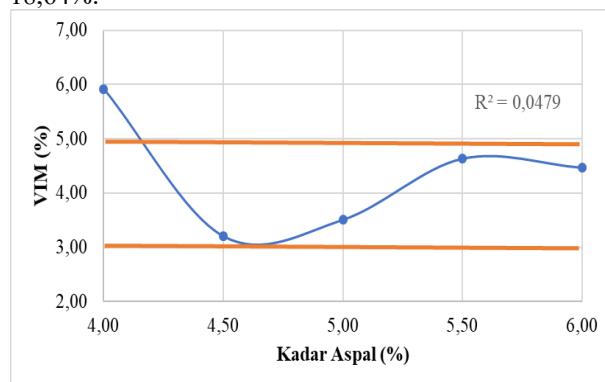
Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow*

Berdasarkan Gambar 3 merupakan hubungan antara nilai *flow* dengan kadar aspal. Didapatkan nilai *flow* yang menunjukkan tingkat kelelahan campuran beraspal. Jika hasil *flow* berada pada rentang 2 – 4 mm artinya campuran beraspal sudah memenuhi persyaratan Bina Marga. Maka itu didapatkan hasil kadar 4,00% sebesar 3,37%, kadar 4,50% sebesar 3,38%, kadar 5,00% sebesar 3,15%, kadar 5,50% sebesar 3,40%, kadar 6,00% sebesar 3,33%. Campuran ini cukup lentur untuk menahan deformasi akibat tekanan atau beban lalu lintas yang berasal dari atasnya. Maka dapat disimpulkan nilai *flow* yang didapatkan pada semua kadar telah memenuhi syarat Bina Marga.



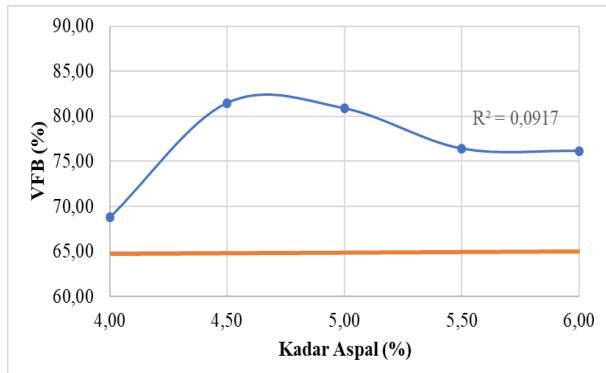
Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Berdasarkan Gambar 4 merupakan hubungan antara nilai VMA dengan kadar aspal. VMA (Void in Mineral Agregat) yaitu rongga udara yang terdapat pada agregat. Pada grafik menunjukkan nilai VMA naik-turun (bervariasi). Nilai VMA pada semua kadar aspal telah memenuhi syarat Bina Marga $\geq 15\%$ dengan hasil kadar 4,00% sebesar 18,87%, kadar 4,50% sebesar 17,26%, kadar 5,00% sebesar 18,00%, kadar 5,5% sebesar 19,33%, kadar 6,00% sebesar 18,64%.



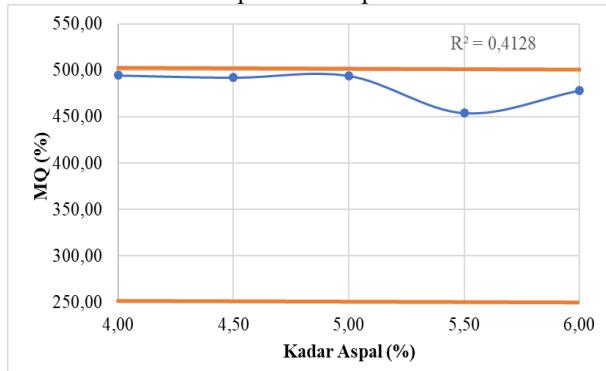
Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Berdasarkan Gambar 5 merupakan hubungan antara nilai VIM dengan kadar aspal. VIM (*Void in mix*) yaitu volume udara total yang terdapat dalam campuran setelah dipadatkan. Pada grafik menunjukkan nilai VIM mengalami peningkatan pada kadar 4,00% dan mengalami penurunan pada kadar 4,50% dan 5,00% dan mengalami kenaikan pada kadar 5,50% dan 6,00%. Nilai VIM pada kadar aspal telah memenuhi syarat Bina Marga 3 – 5% yaitu pada kadar 4,50% sebesar 3,21%, kadar 5,00% sebesar 3,51%, kadar 5,5% sebesar 4,63%, kadar 6,00% sebesar 4,46%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal pada kadar-kadar tersebut sudah memenuhi spesifikasi, sehingga dapat dikatakan bahwa karakteristik rongga udara pada campuran berada dalam kondisi yang baik dan layak untuk digunakan.



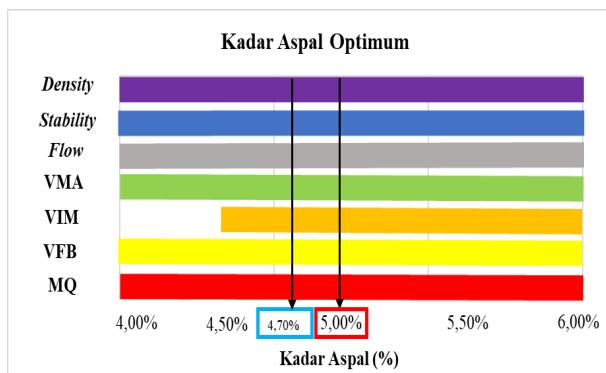
Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

Berdasarkan Gambar 6 merupakan hubungan antara nilai VFB dengan kadar aspal. VFB (Void Filled Bitumen) yaitu rongga udara yang terisi oleh aspal. Pada grafik menunjukkan nilai VFB naik-turun (bervariasi). Nilai VFB pada semua kadar aspal telah memenuhi syarat $Bina Marga \geq 65\%$ dengan hasil kadar 4,00% sebesar 68,78%, kadar 4,50% sebesar 81,48%, kadar 5,00% sebesar 80,90%, kadar 5,5% sebesar 76,44%, kadar 6,00% sebesar 76,17%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal pada kadar-kadar tersebut sudah memenuhi spesifikasi, sehingga dapat dikatakan bahwa campuran beraspal berada dalam kondisi yang baik dan layak untuk digunakan.



Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Berdasarkan Gambar 7 merupakan hubungan antara nilai MQ dengan kadar aspal. *Marshall Quontient* (MQ) yaitu kekakuan dan kelenturan pada campuran aspal. Pada grafik menunjukkan nilai MQ mengalami kenaikan dari kadar 4,00 – 4,50% dan maksimal pada kadar 5,50% dan menurun pada kadar 5,50% dan 6,00%. Nilai MQ pada semua kadar aspal telah memenuhi syarat $Bina Marga 250 – 500 \text{ kg/mm}$ dengan hasil kadar 4,00% sebesar 484,82 kg/mm, kadar 4,50% sebesar 492,11 kg/mm, kadar 5,00% sebesar 494,06 kg/mm, kadar 5,5% sebesar 454,48 kg/mm, kadar 6,00% sebesar 478,48 kg/mm.



Gambar 8. Kadar Aspal Optimum Campuran Beraspal

Berdasarkan Gambar 8 didapatkan hubungan kadar aspal dengan parameter *Marshall* untuk campuran beraspal maka dapat dilihat bahwa density pada semua kadar telah memenuhi persyaratan. Nilai *flow* pada semua kadar telah memenuhi persyaratan, nilai *VMA* pada semua kadar telah memenuhi persyaratan, nilai *VIM* pada semua kadar telah

memenuhi persyaratan selain pada kadar 4,00% tidak memenuhi persyaratan, nilai VFB pada semua kadar telah memenuhi persyaratan dan nilai MQ pada semua kadar telah memenuhi persyaratan. Maka dapat disimpulkan nilai KAO untuk campuran beraspal pada grafik diatas dengan kadar 5,00% akan digunakan untuk kadar rencana dalam membuat campuran beraspal dengan substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora*. Kadar aspal 5,00% menunjukkan seluruh parameter *Marshall* berada dalam rentang yang sesuai spesifikasi. Pada kadar ini campuran beraspal dinilai memiliki stabilitas yang baik, kekakuan yang seimbang, serta rongga udara yang cukup untuk mendukung daya tahan terhadap lalu lintas dan cuaca. Oleh karena itu, kadar 5,00% dipilih sebagai kadar rencana untuk campuran beraspal di lapangan.

Hasil dan analisis pengujian campuran beraspal dengan substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora*

KAO yang telah didapatkan akan digunakan sebagai kadar aspal rencana pada campuran beraspal dengan substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora*. Kadar aspal rencana digunakan untuk perancangan campuran beraspal sehingga bisa diperoleh apakah benda uji bisa digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Setelah, pembuatan benda uji dilakukan pengujian *Marshall Test*. Berikut ini merupakan perancangan campuran beraspal dengan bahan tambahan limbah *acropora*.

Perancangan campuran beraspal dalam merencanakan campuran beraspal dengan substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* ini menggunakan perencanaan persentase lolos mix design yang sudah dibuat pada saat pembuatan KAO. Pada saat perancangan campuran beraspal pada Bin 1 yaitu abu abu batu akan di substitusi dengan pasir sungai dengan kadar pasir sungai yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% serta bahan tambahan limbah *acropora* dengan variasi yaitu 1%, 2%, 3%.

Tabel 5. Persentase Berat Agregat Kadar 5%

Bin	Persentase	Berat Agregat (gram)	Kumulatif Berat Agregat (gram)
Bin 3	4,91	58,87	58,87
Bin 2	38,47	461,59	520,45
Bin 1 (Pasir & Abu Batu)	51,87	622,40	1142,86

Tabel 6. Persentase Pasir Sungai, Bin 1 dan Limbah *Acropora*

Kadar Pasir (%)	Berat Pasir (gr)	Berat Bin 1	Total	Kadar Limbah (%)	Berat Limbah (gr)
25	155,60	466,40	622,40	1	12,00
50	311,20	311,20	622,40	2	24,00
75	466,80	155,60	622,40	3	36,00
100	622,40	622,40	622,40		

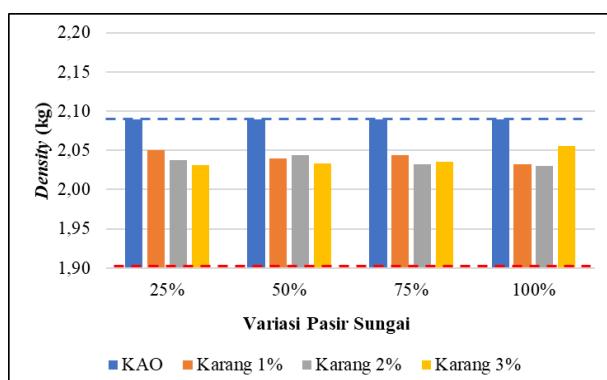
Perbedaan hanya terletak pada persentase antara pasir sungai dan bin 1, serta penambahan limbah *acropora* sebagai bahan tambahan. Variasi persentase karang bertujuan untuk melihat sejauh mana pengaruh bahan tambahan tersebut terhadap kinerja campuran aspal, khususnya dalam meningkatkan daya ikat antar agregat dan karakteristik *Marshall*.

Tabel 7. Persentase Pasir Sungai, Agregat, Aspal dan Limbah *Acropora*

Limbah <i>Acropora</i>	Pasir (%)	Berat Pasir (gr)	Berat Pasir (gr)	Berat Bin 1 (gr)	Berat Bin 2 (gr)	Berat Bin 3 (gr)	Aspal (gr)	Berat Total (gr)
12,00								1212,00
24,00	25,00	155,60	466,80	461,59	58,87	57,14	57,14	1224,00
36,00								1236,00
12,00								1212,00
24,00	50,00	311,20	311,20	461,59	58,87	57,14	57,14	1224,00

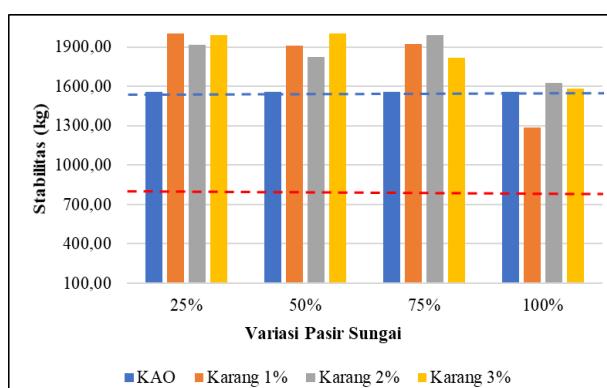
Limbah <i>Acropora</i>	Pasir (%)	Berat Pasir (gr)	Berat Bin 1 (gr)	Berat Bin 2 (gr)	Berat Bin 3 (gr)	Aspal (gr)	Berat Total (gr)
36,00							1236,00
12,00							1212,00
24,00	75,00	466,80	155,60	461,59	58,87	57,14	1224,00
36,00							1236,00
12,00							1212,00
24,00	100,00	622,40	0,00	461,59	58,87	57,14	1224,00
36,00							1236,00

Untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai hasil campuran beraspal dengan substitusi pasir sungai dan limbah *acropora* sebagai agregat halus, dilakukan pengujian *Marshall* pada beberapa variasi kadar aspal. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat-sifat penting campuran seperti *density*, *stabilitas*, *flow*, *void in mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), serta *Marshall Quotient* (MQ). Hasil dari setiap parameter pengujian pada kadar dan pasir sungai dengan variasi 25%, 50%, 75% dan 100% serta limbah *acropora* dengan kadar yaitu 1%, 2%, dan 3%.



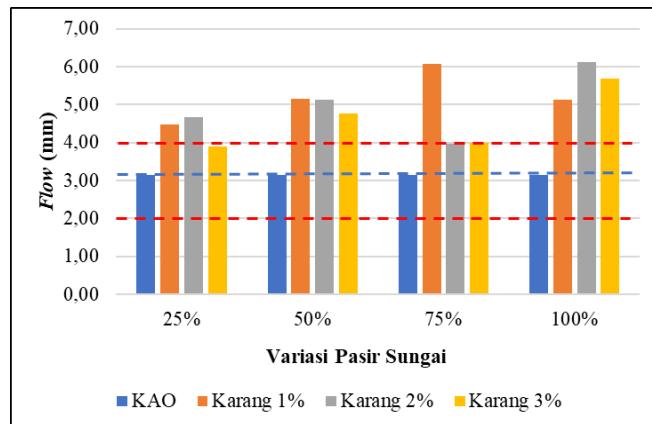
Gambar 9. Perbandingan Nilai *Density* KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* mengalami peningkatan nilai setiap variasi pasir sungai bertambah. Dari hasil nilai *density* apabila dikorelasikan dengan nilai *density* KAO yaitu sebesar 2,09 gram/cm³ pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai yaitu sebesar 2,09 gram/cm³. Dari hasil nilai *density* tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai serta bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan limbah *acropora* 1% yaitu sebesar 2,05 gram/cm³, pasir sungai 50% dengan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 2,04 gram/cm³, pada pasir sungai 75% dengan limbah *acropora* 1% yaitu sebesar 2,04 gram/cm³, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 2,05 gram/cm³.



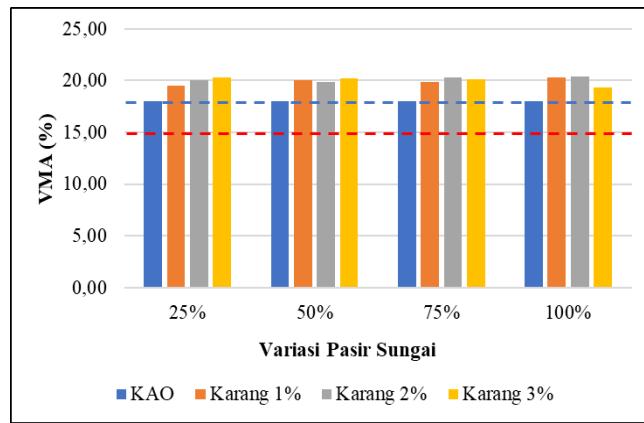
Gambar 10. Perbandingan Nilai Stabilitas KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 10 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* mengalami peningkatan nilai. Dari grafik batang nilai stabilitas apabila dikorelasikan dengan spesifikasi nilai stabilitas KAO yaitu sebesar ≥ 800 kg pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai yaitu sebesar 1556,23 kg. Dapat dilihat dari hasil nilai stabilitas tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai serta bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan tambahan limbah *acropora* 1% memiliki nilai yaitu sebesar 2061,04 kg, pada pasir sungai 50% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 2008,39 kg, pada pasir sungai 75% dengan tambahan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 1988,28 kg, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 1624,57 kg.



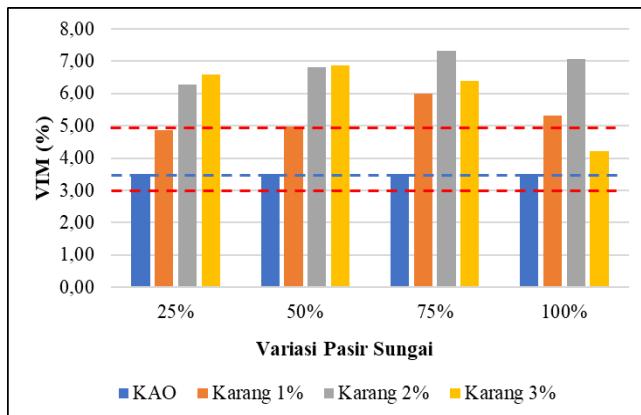
Gambar 11. Perbandingan Nilai *Flow* KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 11 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* mengalami peningkatan nilai. Dari nilai *flow* apabila dikorelasikan dengan nilai *flow* KAO dengan spesifikasi yaitu sebesar 2 – 4 mm pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai *flow* yaitu 3,15 mm. Dapat dilihat dari hasil nilai *flow* tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai serta bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan tambahan limbah *acropora* 2% memiliki nilai yaitu sebesar 4,67 mm, pada pasir sungai 50% dengan tambahan limbah *acropora* 1% yaitu sebesar 5,17 mm, pada pasir sungai 75% dengan tambahan limbah *acropora* 1% yaitu sebesar 6,07 mm, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 6,13 mm.



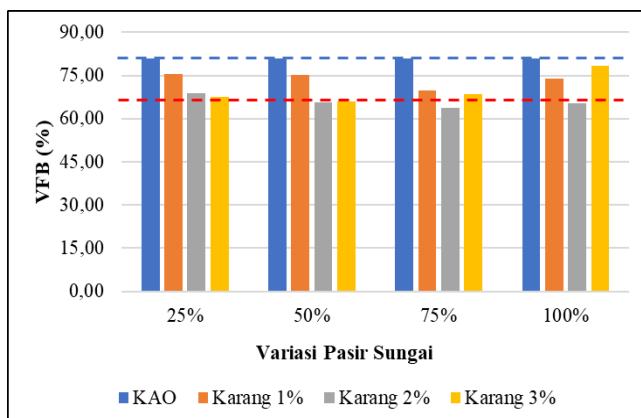
Gambar 12. Perbandingan Nilai VMA KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 12 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* mengalami peningkatan nilai. Dari nilai VMA apabila dikorelasikan dengan spesifikasi nilai VMA yaitu sebesar $\geq 15\%$ pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai VMA yaitu 18,00%. Dari hasil nilai VMA tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai serta bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan tambahan limbah *acropora* 3% memiliki nilai yaitu sebesar 20,32%, pada pasir sungai 50% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 20,23%, pada pasir sungai 75% dengan tambahan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 20,28%, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 2% memiliki nilai yaitu sebesar 20,37%.



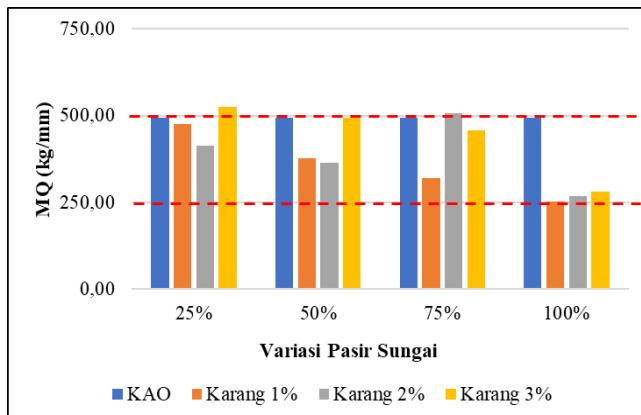
Gambar 13. Perbandingan Nilai VIM KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 13 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* mengalami peningkatan nilai. Dari nilai VIM apabila dikorelasikan dengan spesifikasi nilai VIM KAO yaitu sebesar 3,00 – 5,00%, pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai VMA yaitu sebesar 3,51%. Hasil nilai VIM tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan tambahan limbah *acropora* 3% memiliki nilai yaitu sebesar 6,59%, pada pasir sungai 50% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 6,88%, pada pasir sungai 75% dengan tambahan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 7,32%, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 2% memiliki nilai yaitu sebesar 7,06%.



Gambar 14. Perbandingan Nilai VIM KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 14 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* dari nilai VFB apabila dikorelasikan dengan spesifikasi nilai VFB KAO yaitu sebesar $\geq 65\%$. Pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai VFB yaitu sebesar 80,90%. Dapat dilihat dari hasil nilai VFB tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai serta bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan tambahan limbah *acropora* 1% memiliki nilai yaitu sebesar 75,44%, pada pasir sungai 50% dengan tambahan limbah *acropora* 1% yaitu sebesar 75,16%, pada pasir sungai 75% dengan tambahan limbah *acropora* 1% yaitu sebesar 69,86%, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 78,26%.



Gambar 15. Perbandingan Nilai VIM KAO dengan Substitusi Pasir Sungai dan Limbah *Acropora*

Pada Gambar 4.24 dapat diketahui bahwa substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* mengalami peningkatan nilai. Dari nilai MQ apabila dikorelasikan dengan spesifikasi nilai MQ KAO yaitu sebesar 250 – 500%. Pada kadar 5% tanpa adanya substitusi pasir sungai dengan penambahan limbah *acropora* didapatkan nilai MQ yaitu sebesar 494,06%. Hasil nilai MQ tertinggi berdasarkan pada setiap variasi pasir sungai serta bahan tambahan limbah *acropora* yaitu pada pasir sungai 25% dengan tambahan limbah *acropora* 3% memiliki nilai yaitu sebesar 524,86%, pada pasir sungai 50% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 493,18%, pada pasir sungai 75% dengan tambahan limbah *acropora* 2% yaitu sebesar 507,08%, pada pasir sungai 100% dengan tambahan limbah *acropora* 3% yaitu sebesar 281,72%.

4. PERSAMAAN

Pengujian *Marshall* dilakukan agar menganalisis karakteristik campuran aspal, terutama dalam menentukan kadar aspal optimum untuk campuran beraspal. Metode ini bertujuan untuk memastikan bahwa campuran aspal memenuhi standar. Hasil dari pengujian parameter *Marshall* seperti kepadatan (*density*), stabilitas, aliran (*flow*), *Void in mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Berikut ini adalah penjelasan mengenai parameternya:

Pengaruh kepadatan (*density*) dapat diperoleh dari persamaan:

$$H = \frac{C}{G(D-E)} \quad (1)$$

dengan H = kepadatan (*density*), C = berat uji kering, G = volume benda uji, $G = D - E$ (berat benda uji kering jenuh – berat benda uji dalam air).

Pengaruh stabilitas dapat diperoleh dari persamaan:

$$\text{Stabilitas} = \text{Bacaan dial} \times \text{kalibrasi ring} \times \text{koreksi benda uji} \quad (2)$$

Pengaruh aliran (*flow*) dapat diperoleh dari arloji pengukur alir. $\quad (3)$

Pengaruh *void in mix* (VIM) dapat diperoleh dari persamaan:

$$\text{VIM (porositas)} = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (4)$$

dengan VIM porositas = rongga di dalam campuran, G_{mb} = berat jenis campuran padat, G_{mm} = berat jenis maksimum campuran.

Pengaruh *Void Filled with Asphalt* (VFA) dapat diperoleh dari persamaan:

$$\text{VFA} = \frac{100 \times (\text{VMA} - \text{VIM})}{\text{VMA}} \quad (5)$$

dengan VFA = rongga terisi oleh aspal, VMA = rongga di antara mineral agregat, VIM = rongga di dalam campuran beraspal.

Pengaruh *Void in Mineral Aggregates* (VMA) dapat diperoleh dari persamaan:

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \quad (6)$$

dengan VMA = rongga di antara mineral agregat, G_{sb} = berat jenis curah agregat, G_{mb} = berat jenis curah padat, P_s = persen agregat terhadap berat total campuran.

Pengaruh *Marshall Quotient* (MQ) dapat diperoleh dari persamaan:

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (7)$$

dengan MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm), S = stabilitas, F = *flow*.

5. KESIMPULAN

Setiap makalah diakhiri dengan kesimpulan, yang merangkum hasil dari makalah yang ditulis dengan format paragraf tanpa indeks.

Berdasarkan hasil eksperimentasi penelitian pada pembuatan campuran beraspal dengan substitusi agregat halus dan pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora*. Pada penelitian ini diperoleh hasil substitusi dari parameter *Marshall* pada substitusi pasir sungai dan bahan tambahan limbah *acropora* dari data yang didapatkan sebagai berikut:

- a. Pengaruh substitusi pasir sungai memberikan nilai yang bervariasi, substitusi pada pasir sungai 25% menghasilkan nilai stabilitas yang tinggi. Sementara penambahan substitusi dengan pasir sungai yang besar seperti 50%, 75% dan 100% akan menurunkan nilai stabilitas.
- b. Pasir sungai sebagai bahan substitusi agregat halus memberikan pengaruh pada nilai stabilitas. Dengan komposisi 25% akan memberikan nilai kenaikan untuk nilai stabilitas, namun pada komposisi lebih dari itu seperti 50%, 75%, dan 100% akan menurunkan nilai stabilitas pada campuran beraspal.
- c. Penambahan limbah *acropora* dapat memberikan pengaruh terhadap campuran beraspal. Pengaruhnya disaat peningkatan 1% limbah *acropora* maka nilai stabilitas menjadi tinggi.
- d. Ada variasi substitusi pasir sungai dan limbah *acropora* yang nilainya tinggi, tetapi pada parameter tertentu tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga.
- e. Untuk nilai dan parameter lain tidak sesuai karena adanya rongga yang kurang padat serta terdapat ruang yang kosong setelah dipadatkan.
- f. Substitusi pasir sungai dan penambahan limbah *acropora* sangat mempengaruhi nilai parameter *Marshall* pada campuran beraspal. Dapat disimpulkan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi berada pada penggunaan substitusi pasir sungai dan tambahan limbah *acropora* yang telah memenuhi syarat Bina Marga pada kadar pasir sungai 25% dan bahan tambahan limbah *acropora* 1%. Maka itu, penggunaan campuran ini bisa dapat diterapkan pada campuran beraspal AC-WC.
- g. Data deposit kapasitas pasir sungai di kota Ambon meskipun tidak tersedia data resmi yang mencantumkan kapasitas deposit pasir sungai di kota Ambon, potensi material ini diperkirakan cukup signifikan karena bentuk wilayahnya yang terdiri dari banyak aliran sungai. Penambangan pasir sungai di Ambon umumnya dilakukan secara lokal dan tradisional untuk keperluan pembangunan rumah, jalan, dan infrastruktur sederhana.
- h. Secara nasional, menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), salah satu jenis pasir yaitu pasir kuarsa yang memiliki potensi sumber daya mencapai sekitar 25 miliar ton di berbagai wilayah Indonesia. Sumber daya dan cadangan pasir kuarsa di Indonesia tersebar di 23 provinsi. (Hikam H, detikfinance, 2025)
- i. Data deposit limbah *acropora* meskipun belum tersedia data resmi mengenai jumlah atau kapasitas deposit karang mati (termasuk jenis *Acropora*) di pesisir Kota Ambon, namun wilayah pesisir dan perairan Maluku memiliki cukup banyak terumbu karang di perairan laut Maluku. Aktivitas alami seperti gelombang besar, perubahan suhu air laut, maupun faktor seperti penangkapan ikan dengan bahan peledak, pencemaran, serta pembangunan pesisir, berpotensi menyebabkan kerusakan terumbu karang dan menghasilkan karang mati di sekitar garis pantai. Limbah karang mati ini umumnya terdampar di sepanjang pantai atau terbawa arus ke perairan dan secara tidak langsung dapat menjadi salah satu jenis limbah karang. Limbah karang *Acropora* memiliki karakteristik fisik yang keras dan berpori, berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam konstruksi, termasuk sebagai agregat substitusi dalam campuran beraspal, asalkan melalui proses yang sesuai dan tidak melanggar ketentuan konservasi laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Dirjen Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, Revisi 2. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Patty, F., Makmur, M., (2018). Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Serbuk ATK & *Anti-Stripping Agent* Terhadap Nilai Stabilitas & Durabilitas Pada Campuran AC-WC yang Tahan Terhadap Rendaman Air. Kofrensi Nasional Teknik Sipil 8, Vol 2, MAT-59.
- Pataras, M., Astira, F. I., Arliyansyah, J., Rangkuti, P., Roynaldo, B., (2017). Analisis Penggunaan Pasir Pantai, Darat, dan Sungai Terhadap Kinerja Laston dan Lataston Wearing Course. Prosiding Simposium II, UNIID. 479.
- Prayogo, A., Suprayitno, H., & Budianto, D. H. (2018). Penentuan Kriteria Dalam Pemilihan Jenis Perkerasan Pada Dataran Tinggi di Kabupaten Trenggalek. In © Its Jurnal Of Civil Engineering. Vol. 33, No. 1. 27.
- Raharmadi, B. (2017). Pemanfaatan Pasir Sungai Barito Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus Pada Campuran Hot Rolled Sheet (HRS) Base. Jurnal Infrastruktur. Vol. 3, No. 2, 1-63.
- Sentosa, L. Dome, I. (2014). Penggunaan Pasir Alam Dalam Campuran Beraspal Jenis AC-WC Dengan Pengujian *Marshall* Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga.
- Siang, R., Makmur, A. (2020) Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Terhadap Parameter *Marshall* Campuran Beraspal Berpori. Jurnal Transportasi. Vol. 20, No. 2. 97-104.
- Sukirman, S. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. Edisi Ketiga/Cetakan Keempat. Bandung: Institut Teknologi Bandung.