

**PENGARUH PENGGUNAAN *RECYCLED CONCRETE AGGREGATES*
(RCA) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC**

(Skripsi)

Oleh

**NINA SANTI ADIESTIA
NPM 1715011055**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN *RECYCLED CONCRETE AGGREGATES* (RCA) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC

Oleh

NINA SANTI ADIESTIA

Kinerja durabilitas perkerasan aspal dapat dipengaruhi oleh kondisi jalan yang terendam oleh air. Selain itu, banyaknya *Construction and Demolition Waste* (CDW) atau limbah konstruksi dan pembongkaran, salah satunya adalah limbah beton dapat menimbulkan timbunan limbah. Hal ini berbanding terbalik dengan penggunaan salah satu material utama dalam konstruksi sipil yaitu agregat dari alam secara terus-menerus seiring pembangunan yang berkelanjutan dapat menyebabkan turunnya jumlah sumber daya alam yang tersedia.

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan limbah beton menjadi *Recycled Concrete Aggregates* (RCA) dengan variasi persentase 0%, 25% dan 50% dengan kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% untuk campuran AC-WC pada aspal penetrasi 60/70. Penelitian ini menggunakan pengujian *Marshall* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan uji durabilitas dengan lama rendaman 0, 1, 3, 7, dan 14 hari melalui analisis Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

Hasil pengujian yang didapatkan antara lain KAO 6% untuk RCA 0%, KAO 6,4% untuk RCA 25%, dan KAO 6,5% untuk RCA 50%. Nilai IKS pada RCA 0%, 25%, dan 50% telah memenuhi spesifikasi yaitu diatas 90%. Nilai IDP dan IDK dengan setiap lama perendaman bernilai positif menandakan adanya kehilangan kekuatan pada campuran beraspal. Berdasarkan nilai IKS, IDP, IDK, durabilitas cenderung lebih baik pada penggunaan RCA 0% dan 25%, dibandingkan RCA 50% yang kurang baik dalam menahan pengaruh rendaman air.

Kata kunci: *Recycled Concrete Aggregates*, AC-WC, Durabilitas, Durabilitas Rendaman.

ABSTRACT

THE IMPACT OF USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATES (RCA) ON THE DURABILITY OF AC-WC MIXTURE

By

NINA SANTI ADIESTIA

The durability performance of asphalt pavement can be affected by road condition that is submerged in water. In addition, the large amount of Construction and Demolition Waste (CDW), one of which is concrete waste can cause landfills. This is inversely proportional to the use of one of the main materials in civil construction, namely aggregates from nature continuously as sustainable development can cause a decrease in the amount of available natural resources.

This research was conducted by utilizing concrete waste into Recycled Concrete Aggregates (RCA) with varying percentages of 0%, 25%, and 50% of the total aggregates with asphalt content of 5.5%, 6%, 6.5%, and 7% for the AC-WC mixture in 60/70 asphalt penetration. This study used the Marshall test to determine Optimum Asphalt Content (OAC) and durability test with immersion times of 0, 1, 3, 7, and 14 days through analysis of Remaining Strength Index, First Durability Index, and Second Durability Index.

The test results obtained included 6% OAC for 0% RCA, 6.4% OAC for 25% RCA, and 6.5% OAC for 50% RCA. Remaining Strength Index values at RCA 0%, 25%, and 50% have met the specification which is above 90%. First Durability Index and Second Durability Index values with each immersion time are positive indicating a loss of strength in the asphalt mixture. Based on the Remaining Strength Index, First Durability Index, and Second Durability Index values, durability tends to be better when using 0% and 25% RCA, compared to 50% RCA which is not good at resisting the effect of water immersion.

Keywords: Recycled Concrete Aggregates, AC-WC, Durability, Immersion Durability

**PENGARUH PENGGUNAAN *RECYCLED CONCRETE AGGREGATES*
(RCA) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC**

Oleh

NINA SANTI ADIESTIA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH PENGGUNAAN *RECYCLED*
CONCRETE AGGREGATES (RCA)
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN
AC-WC**

Nama Mahasiswa : **Nina Santi Adiestia**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1715011055**

Program Studi : **S1 Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**





Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Siti Anugrah Mulya P. O., S.T., M.T.
NIP 19910113 201903 2 020

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001


MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.



Sekretaris : Siti Anugrah Mulya Putri O., S.T., M.T.



Anggota : Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Februari 2023

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Nina Santi Adiestia**

NPM : 1715011055

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Pengaruh Penggunaan *Recycled Concrete Aggregates* (RCA)

Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 Maret 2023

Pembuat Pernyataan,



Nina Santi Adiestia

NPM. 1715011055

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nina Santi Adiestia, lahir di Bandar Lampung pada 25 Mei 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Zulkifli Ahmad Sanusi T.S., dan Ibu Dra. Munziawati.

Jenjang Pendidikan Penulis dimulai dari Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Al-Azhar 16 Bandar Lampung (2004-2005), dilanjutkan Sekolah Dasar di SDN 3 Kemiling Permai, Bandar Lampung (2005-2011), lalu Sekolah Menengah Pertama di SMPN 22 Bandar Lampung (2011-2014), dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 14 Bandar Lampung (2014-2017). Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur SBMPTN.

Penulis tercatat sebagai anggota Departemen Advokasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung (2018/2019), kemudian sebagai Sekretaris Departemen Advokasi HIMATEKS Universitas Lampung pada periode 2019/2020. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kemiling Permai, Kemiling, Bandar Lampung selama 40 hari pada periode I (2021). Penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gudang Bulog Unit A, Campang Raya, Bandar Lampung selama 3 bulan. Selama masa perkuliahan, penulis pernah diangkat menjadi Asisten Dosen Praktikum mata kuliah Mekanika Tanah II (2022).

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir pada tahun 2021 dengan judul Pengaruh Penggunaan *Recycled Concrete Aggregates* (RCA) Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC.

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT. yang maha pengasih lagi maha penyayang, Tuhan yang selalu memberikan saya kekuatan hingga dapat berada di titik ini.

Saya persembahkan dengan setulus hati skripsi ini kepada orang-orang tersayang dan berjasa dalam hidup saya.

Teruntuk kedua orang tua, adik, sahabat, dan rekan seperjuangan yang telah memberikan dukungan dan hal-hal terbaik dalam hidup ini.

Teruntuk seluruh Dosen Prodi S1 Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama saya menempuh perkuliahan.

Teruntuk diri sendiri, atas kerja keras, perjuangan, keringat, dan air mata.
Terima kasih untuk memilih tidak menyerah saat berada di titik terendah.
Terima kasih telah melewati semua rintangan walaupun berat menjalaninya.
Terima kasih telah bersama mencari makna kehidupan ini dan akan terus bersama-sama menjalani lembaran kehidupan selanjutnya.

MOTTO

“When you are tired and sad, try looking at your fingers. Then one by one move them around. It will feel very mysterious. You feel like you can not do anything, but you can move your fingers.”

- House of Hummingbird (2018) by Kim Bora -

“Negative thoughts are only in your mind, just do it.”

- Arti Pramadani, M.Psi. Psikolog. -

“If you fail, try again. If you fail again, try and try again. And if you fail and fail again, try and try and try again, until you succeed.”

- Yonathan Eko S.B., S.Pd. -

“A persistent regular one is better than a lazy genius.”

- Sudarti, S.Pd. -

“Nothing is perfect. And that is not an excuse for not doing your best.”

- N.S. Adiestia -

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Recycled Concrete Aggregates* (RCA) Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak dukungan, bantuan, bimbingan, serta pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil sekaligus pembimbing I penulis atas kesabaran dan kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan kepada penulis. Terima kasih juga atas ilmu, masukan, pengarahan, serta motivasi yang telah diberikan dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Siti Anugrah Mulya Putri Ofrial, S.T., M.T. selaku pembimbing II penulis atas ilmu, bimbingan, serta masukan dalam proses penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Ir. Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T. selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan kritik yang sangat bermanfaat dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Prodi S1 Teknik Sipil atas semua bekal ilmu pengetahuan yang telah diberikan. Serta staf akademisi atas bantuannya kepada penulis selama menjalani proses perkuliahan.
7. Bapak Suroto serta seluruh petugas Laboratorium Inti Jalan Raya yang senantiasa membantu dan memberikan arahan selama penulis melakukan penelitian di laboratorium.
8. Kedua orang tua, mama dan papa tercinta, Dra. Munziawati dan Zulkifli Ahmad Sanusi T.S., serta adik tersayang, Soraya Tiana Dewi. Terima kasih pula kepada Mamah Tah, Ibuk, Paduka, Uncu, Nyaik, dan seluruh keluarga besar penulis atas do'a, nasihat, serta dukungan baik moril maupun materil kepada penulis selama ini.
9. Rekan penelitian penulis, RCA's Team, Nurvita Indriani, Ika Mustika Cahya Asri, dan Fegi Yusia Ranti atas kerja sama dan kebersamaan selama penelitian, bimbingan, serta revisi hingga skripsi ini selesai. Terima kasih pula kepada Rahmat Suminto, I Gusti Putu Indra Yoga Pratama, dan seluruh Lab Jalan's Squad yang turut membantu penelitian penulis di Laboratorium Inti Jalan Raya.
10. Mbak Arti Pramadani, M.Psi., Psikolog., yang telah mendengarkan penulis, memberikan semangat, bantuan, serta motivasi baik dalam perkuliahan maupun kehidupan selama sesi konseling. Terima kasih telah mengenalkan *Mindfulness* yang masih penulis praktikkan hingga saat ini.

11. Rizky Maimun, sahabat penulis sejak awal perkuliahan hingga seterusnya, atas segala kebaikan dan bantuan yang telah diberikan. Terima kasih juga kepada sahabat penulis, Arum Mega Cahyani dan Angie Octaviany yang telah menemani dan mendukung penulis selama kurang lebih 7 tahun ini dan seterusnya.
12. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2017 atas semua kenangan yang tidak akan pernah penulis lupakan sejak awal masa perkuliahan hingga saat ini. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 2 Maret 2023

Nina Santi Adiestia

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Campuran Beraspal	5
2.2. <i>Recycled Concrete Aggregates (RCA)</i>	9
2.3. Durabilitas	11
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	16
3.2. Persiapan dan Pengujian Material	17
3.3. Desain Campuran Beraspal	21
3.4. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian <i>Marshall</i>	28
3.5. Menentukan Kadar Aspal Optimum.....	33
3.6. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Durabilitas	36
3.7. Analisis	40
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1. Analisis Pengujian <i>Marshall</i>	41
4.2. Analisis Durabilitas Campuran Beraspal	42
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1. Simpulan.....	50
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi	6
2.2. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (<i>Asphalt Concrete</i>).....	8
2.3. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	9
3.1. Standar Pengujian Agregat.....	19
3.2. Hasil Pengujian Agregat Alami	19
3.3. Hasil Pengujian Agregat Limbah Beton	20
3.4. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70	20
3.5. Gradasi Agregat Gabungan	21
3.6. Hasil Uji Kepadatan Maksimum Campuran Beraspal	25
3.7. Proporsi Berat Campuran Beraspal.....	26
3.8. Berat Agregat Per-Saringan untuk RCA 0%	27
3.9. Berat Agregat Per-Saringan untuk RCA 25%	27
3.10. Berat Agregat Per-Saringan untuk RCA 50%	28
3.11. Pembuatan Benda Uji <i>Marshall</i>	28
3.12. <i>Bulk Density</i> dan Kandungan Rongga Campuran	32
3.13. Hasil Uji Stabilitas dan <i>Flow</i>	33
3.14. Parameter Desain Untuk Campuran Aspal Bergradasi Padat	34
3.15. Karakteristik Marshall Untuk Campuran Aspal (Spesifikasi 504)	34
3.16. <i>Void In Mix</i> Rata-rata	34
3.17. Kadar Aspal Optimum	36
3.18. Hasil Uji Kepadatan Maksimum KAO	36
3.19. Proporsi Berat Campuran dengan Kadar Aspal Optimum.....	37
3.20. Berat Agregat Per Saringan.....	37
3.21. Pembuatan Benda Uji Durabilitas	38
4.1. Nilai Stabilitas Berdasarkan Lama Perendaman	41
4.2. Nilai Durabilitas Berdasarkan Lama Perendaman	42
4.3. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)	45

4.4. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	46
4.5. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Kurva indeks durabilitas pertama.....	14
2.2. Kurva indeks durabilitas kedua.....	15
3.1. Diagram alir penelitian.....	16
3.2. Limbah beton dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi.....	17
3.3. Menghancurkan limbah Beton.....	18
3.4. Mengayak Limbah Beton.....	18
3.5. Agregat Limbah Beton.....	18
3.6. Grafik gradasi agregat.....	22
3.7. Alat uji kepadatan maksimum.....	22
3.8. Proses pengujian kepadatan maksimum aspal.....	24
3.9. Proses pembuatan benda uji <i>Marshall</i>	30
3.10. Alat Uji <i>Marshall</i>	30
3.11. Proses pengujian <i>Marshall</i>	31
3.12. Menentukan kadar aspal optimum RCA 0%.....	35
3.13. Menentukan kadar aspal optimum RCA 25%.....	35
3.14. Menentukan kadar aspal optimum RCA 50%.....	35
3.15. Proses pengujian <i>Marshall</i>	40
4.1. Kurva Durabilitas.....	44
4.2. Hubungan IKS dengan RCA.....	45
4.3. Indeks Durabilitas Pertama (IDP) gabungan.....	46
4.4. Kehilangan kekuatan (a) gabungan.....	48
4.5. Kekuatan sisa (Sa) gabungan.....	48

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia dari waktu ke waktu memerlukan pasokan material alam yang tidak sedikit. Sumber daya alam di Indonesia yang melimpah tidak mengindikasikan bahwa jumlahnya tak terbatas. Eksploitasi agregat dari alam atau *Natural Aggregates* (NAg) yang merupakan salah satu material utama dalam konstruksi sipil secara besar-besaran dapat menyebabkan turunnya jumlah sumber daya alam yang tersedia, sehingga hal ini dapat membawa dampak signifikan pada lingkungan.

Di lain sisi, industri konstruksi yang telah mengalami pertumbuhan pesat dalam beberapa dekade terakhir menyebabkan banyaknya *Construction and Demolition Waste* (CDW) (Ossa et al., 2016). CDW atau lebih dikenal sebagai limbah konstruksi dan pembongkaran dianggap sebagai aktivitas tak berkelanjutan yang menyebabkan kerusakan lingkungan secara progresif (Mejía et al., 2015). Limbah beton adalah salah satu jenis dari CDW yang banyak ditemukan di Indonesia. Limbah yang dibuang dan tidak dimanfaatkan dengan baik dapat menimbulkan timbunan limbah dalam jumlah besar.

Pengurangan konsumsi agregat alam dan peningkatan pemanfaatan CDW sebagai bahan baku dapat dilakukan secara bersamaan untuk mendorong pembangunan industri konstruksi yang berkelanjutan (Rodrigues et al., 2013). Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pemanfaatan limbah beton menjadi *Recycled Concrete Aggregates* (RCA). Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Andhikatama dkk. (2013) dengan memanfaatkan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) yang menyimpulkan bahwa penggunaan limbah beton berpengaruh pada nilai karakteristik *Marshall* pada campuran aspal.

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai penggunaan limbah beton sebagai material dalam campuran AC-WC sebagian besar merupakan kajian terhadap karakteristik *Marshall*. Dalam hal ini, penelitian akan terfokus pada sisi durabilitas (keawetan) campuran. Kondisi jalan yang terendam oleh air dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal, khususnya masalah ketahanan, keawetan dan kemampuan menerima beban. Adanya air mengakibatkan penurunan daya dukung bagian perkerasan dibawahnya sehingga bagian dari perkerasan tersebut mengalami penurunan (Pangemanan dkk., 2015).

Penelitian oleh Setiawan dkk. (2014) menyatakan bahwa pengaruh penuaan dan lama perendaman berpengaruh cukup signifikan terhadap durabilitas campuran AC-WC. Benda uji yang mengalami penuaan menghasilkan nilai kekuatan sisa di bawah batas minimal yang disyaratkan yaitu 90%, sedangkan Indeks Durabilitas benda uji yang mengalami penuaan menunjukkan penurunan kekuatan cukup besar seiring dengan bertambahnya waktu perendaman dibandingkan dengan benda uji normal, sehingga benda uji yang mengalami penuaan dianggap tidak cukup tahan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air dan suhu.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan RCA (*Recycled Concrete Aggregates*) terhadap durabilitas campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*).

1.3. Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini, diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.

2. Limbah beton yang digunakan adalah sisa pengujian sampel beton yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas lampung.
3. Jenis campuran aspal yang digunakan yaitu *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC).
4. Material aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal dengan penetrasi 60/70.
5. Komposisi limbah beton yang digunakan sebagai bahan campuran agregat adalah sebesar 0%, 25%, dan 50%.
6. Durasi perendaman benda uji dalam penelitian ini adalah selama 0 hari, 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 14 hari.
7. Penelitian hanya dilakukan pada durabilitas benda uji silinder berdasarkan durasi perendaman dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan RCA (*Recycled Concrete Aggregates*) terhadap durabilitas campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*).

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman dan wawasan terkait pengaruh penggunaan RCA (*Recycled Concrete Aggregates*) terhadap durabilitas campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*).
2. Sebagai inovasi dan alternatif dalam mengurangi penggunaan agregat alam (NAg) dengan memanfaatkan limbah beton.
3. Sebagai referensi bagi pihak-pihak terkait mengenai pengaruh penggunaan RCA (*Recycled Concrete Aggregates*) terhadap durabilitas campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*).

1.6. Sistematika Penulisan

Secara sistematis, pembahasan yang diuraikan pada penelitian ini dibagi menjadi lima bab, antara lain sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan untuk menunjang penelitian dan diperoleh dari berbagai sumber.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan diagram alir dan metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan, mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dari teori yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang diambil dari penelitian ini. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisikan data-data penunjang dalam proses pengolahan data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Campuran Beraspal

Campuran beraspal adalah suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Dalam campuran beraspal, aspal berfungsi sebagai pengikat dan pengisi rongga antar partikel agregat, sedangkan agregat berperan sebagai tulangan. Sifat-sifat mekanis aspal dalam campuran beraspal diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*), dan kekuatannya tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran, dan ukuran agregat maksimum yang digunakan.

2.1.1. Komposisi

1. Aspal

Aspal sebagai material perkerasan jalan memiliki fungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Aspal sebagai bahan pengikat karena aspal memiliki sifat kohesi yaitu gaya ikat yang berasal dari daya lekatnya (Andhikhatama dkk., 2013). Menurut Sukirman (2003), aspal bersifat termoplastis, yang berarti akan mencair jika dipanaskan dan akan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya aspal pada campuran perkerasan jalan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran dapat berperan sebagai selimut agregat dalam bentuk *film* aspal yang berfungsi menahan gaya gesek permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang juga berarti mengurangi infiltrasi air ke dalam campuran. Ketentuan untuk aspal keras penetrasi telah diatur oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm) Temperatur yang menghasilkan Geser	SNI06-2456-1991	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik >1,0 kPa, (°C)	SNI06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥300	≤3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI2434:2011	≥48	Dilaporkan ⁽¹⁾	
5	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI2432:2011	≥100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI2433:2011	≥232	≥230	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTOT44-14	≥99	≥99	
8	Berat Jenis	SNI2441:2011	≥1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤2,2	
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤2	-	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):					
11	Berat yang Hilang (%) Temperatur yang Menghasilkan Geser	SNI06-2441-1991	≤0,8		
12	Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10rad/detik >2,2 kPa, (°C)	SNI06-6442-2000		70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥54	≥54	≥54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI2432:2011	≥50	≥50	≥25
Residu aspal segar setelah P AV (SNI 0 3-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 Mpa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik >5000 kPa (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5 hal 40-41.

2. Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume (Shen et al., 2005). Sifat agregat merupakan salah satu faktor yang menentukan kemampuan perkerasan jalan untuk memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan sebelum diputuskan apakah suatu agregat dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, tekstur permukaan, bentuk butir, berat jenis, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, kemampuan untuk menyerap air, porositas, dan daya ikat aspal dengan agregat. Spesifikasi gradasi agregat untuk campuran aspal dapat dilihat dalam Tabel 2.3. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal.

3. Filler

Filler atau bahan pengisi adalah material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) (Bina Marga, 2020). *Filler* berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun jumlah *filler* juga harus diperhatikan. Menurut Wahyudiono dkk. (2020), jika jumlahnya terlalu tinggi, *filler* akan menyebabkan campuran menjadi rapuh dan mudah retak saat terpapar oleh beban lalu lintas, tetapi jika terlalu sedikit *filler* dapat menghasilkan campuran yang lembek dalam cuaca panas.

2.1.2. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

Lapisan Aspal Beton (Laston) atau disebut juga AC (*Asphalt Concrete*) merupakan campuran yang terdiri atas agregat yang mempunyai gradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu yang umum digunakan pada lalu-lintas berat (Imannurohman dkk., 2020). Karena merupakan

campuran bergradasi menerus, AC mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya bila dibandingkan gradasi senjang, sehingga lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran. Lapis permukaan atau AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) merupakan lapisan paling atas pada campuran Laston yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan sehingga tak terjadi slip (Sukirman, 2003).

Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (*Asphalt Concrete*)

Sifat-sifat Campuran	Laston			
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.		0,6	
	Maks.		1,2	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.		3,0	
	Maks.		5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.		800	1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min.		2	3
	Maks		4	6 ⁽³⁾
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min.		90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min.		2	

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.3.(1c) Hal 45.

Gradasi merupakan distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu. Gradasi agregat memiliki satuan dalam persentase tertahan ataupun lolos

yang dihitung berdasarkan berat agregat. Adapun Spesifikasi gradasi agregat untuk campuran aspal dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	Persentase Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran (%)		
	Lapis Aspal Beton (AC)		
	WC (Wearing Course)	BC (Binder Course)	Base
25	-	-	100
19	100	100	90 – 100
12,5	90 – 100	90 – 100	76 – 90
9,5	77 – 90	75 – 90	60 – 78
4,75	53 – 69	66 – 82	52 – 71
2,36	33 – 53	46 – 64	35 – 54
1,18	21 – 40	30 – 49	23 – 41
0,600	14 – 30	18 – 38	13 – 30
0,300	9 – 22	12 – 28	10 – 22
0,150	6 – 15	7 – 20	6 – 15
0,075	4 - 9	5 -13	4 – 10

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.(3)

2.2. Recycled Concrete Aggregates (RCA)

Limbah adalah benda yang dibuang baik berasal dari alam ataupun dari hasil proses teknologi yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis (Andhikhatama dkk, 2013). Sedangkan limbah beton adalah material beton dari hasil penghancuran beton struktur yang sudah tidak terpakai lagi yang diambil dari pembangunan konstruksi. *Recycled Concrete Aggregates* (RCA) adalah istilah yang diberikan pada material limbah beton yang didaur ulang. Beberapa masalah lingkungan utama yang terkait dengan konstruksi seperti yang dinyatakan oleh Oikonomou (2005), bahwa konstruksi mengambil 50% bahan mentah dari alam, menghabiskan 40% dari total energi, dan menghasilkan 50% dari total limbah.

Penggunaan RCA dalam skala besar dapat membantu mengurangi dampak negatif konstruksi dengan menggunakan kembali limbah dan mencegah lebih banyak eksploitasi agregat alam (N_{Ag}). RCA bekerja secara berbeda daripada agregat alam. Sisa mortar yang menempel pada agregat merupakan faktor utama yang mempengaruhi sifat-sifat RCA. Massa jenis RCA umumnya lebih rendah daripada agregat alam karena mortar yang diikat kurang padat dari batuan dibawahnya, sedangkan porositas dan penyerapan air RCA lebih besar yang memungkinkan agregat menahan lebih banyak air didalam pori-porinya dibanding agregat alam (McNeil & Kang, 2013).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Andhikata dkk. (2013) yang menggunakan metode eksperimen dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap total berat agregat serta benda uji dengan variasi limbah beton 0%, 20%, 40%, 60%, 80% terhadap total agregat kasar mengacu pada spesifikasi, dari hasil analisa diperoleh nilai stabilitas, VMA, VIM, dan Marshall Quotient mengalami kenaikan, sedangkan nilai flow dan VFWA mengalami penurunan seiring penambahan kadar limbah beton.

Penelitian juga dilakukan oleh Imannurohman dkk. (2020). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan pengujian *Marshall* dengan percobaan serta perbandingan sesuai dengan kadar variasi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar 0%, 10%, 15%, dan 20% dan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% sesuai spesifikasi. Hasil yang didapat dari pengujian ini dihasilkan pengaruh nilai karakteristik *Marshall* dengan kadar aspal optimum 6% dan didapatkan hasil penambahan persentase limbah beton semakin tinggi menghasilkan nilai propertis *Marshall* seperti, stabilitas, VIM, VMA semakin tinggi dan *flow* semakin rendah.

Penelitian juga dilakukan dilakukan oleh Sidi dkk. (2020). Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5% dan sampel benda uji divariasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah., didapatkan hasil kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,89% dengan nilai Stabilitas, VIM, VMA, semakin meningkat dan

flow semakin menurun dan limbah beton memenuhi persyaratan sebagai pengganti agregat baru dan dapat memenuhi spesifikasi.

2.3. Durabilitas

2.3.1. Pengertian

Salah satu karakteristik dari campuran beton aspal adalah durabilitas (*durability*). Menurut Sukirman (2003), durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Beberapa faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton antara lain:

1. Rongga dalam campuran kecil menyebabkan lapis aspal menjadi kedap air dan udara tidak dapat masuk ke dalam campuran. Hal ini menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (*getas*).
2. Rongga antar agregat yang besar menyebabkan film aspal dibuat lebih tebal. Jika rongga antar agregat dan rongga dalam campuran besar serta kadar aspal tinggi, maka kemungkinan terjadinya *bleeding* lebih besar.
3. Film aspal atau disebut pula selimut aspal. Ketebalan selimut aspal akan mempengaruhi terbungkusnya agregat secara baik yang mengakibatkan beton aspal menjadi lebih kedap air sehingga kemampuan menahan keausan semakin baik. Film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapisan yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi lebih tinggi pula.

2.3.2. Rumus Durabilitas

1. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

IKS (Indeks Kekuatan Sisa) atau IRS (*Index Retained Stability*) diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) yang dibagi menjadi dua kelompok yaitu diuji stabilitas *Marshall*-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60°C

selama waktu T_1 dan diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama waktu T_2 . Dari kedua perendaman tersebut didapat nilai stabilitas *Marshall*, ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) *Marshall* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Hunter, 1994):

$$\text{IKS} = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \geq 90\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

S_1 = Nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T_1 (Kg)

S_2 = Nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T_2 (Kg)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 90%. Nilai tersebut menandakan bahwa campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh perendaman.

Beberapa peneliti melakukan penelitian tingkat keawetan dengan pengujian masa perendaman yang lebih lama. Craus et al. (1981) menyatakan bahwa kriteria perendaman satu hari tidak selalu mencerminkan sifat keawetan dari campuran setelah beberapa waktu masa perendaman. Dalam penelitiannya, Craus et al. (1981) memperkenalkan 2 macam indeks keawetan yaitu:

1. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Craus et al., 1981):

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

r = Indeks Penurunan Stabilitas (%)

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)

S_i = Persentase kekuatansisa pada waktu t_i (%)

t_i, t_{i+1} = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

Nilai 'r' yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan sedangkan nilai 'r' bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan. Indeks durabilitas pertama dapat dijelaskan sehubungan dengan nilai absolut dari kehilangan bobot dalam kekuatan (R) seperti ditunjukkan dalam persamaan 2.3.

$$R = \frac{r}{100} S_0 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

r = Indeks durabilitas pertama (%)

S_0 = Persentase kekuatan awal (%)

2. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Craus et al. (1981) mendefinisikan indeks durabilitas kedua (a) sebagai rata-rata area kekuatan tertutup antara kurva durabilitas dan garis $S_0 = 100\%$ menggunakan persamaan (2.3). Indeks IDK dapat didefinisikan sebagai persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a), nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan (A), nilai absolut kekuatan sisa (S_a) berturut-turut pada persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6) sebagai berikut:

$$a = \frac{1}{t_n} \dots \sum_{i=1}^n a_i \text{ atau } a = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1}

S_i = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i

t_{i+1} = Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

t_n = Total waktu perendaman

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. 'a' bernilai positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan 'a' bernilai negatif menggambarkan penambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu,

memungkinkan untuk menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari \overline{S}_a sebagai berikut:

$$\overline{S}_a = (100 - a) \dots\dots\dots (2.5)$$

Nilai indeks durabilitas kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan sebagai berikut:

$$A = \frac{a}{100} \times S_0 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

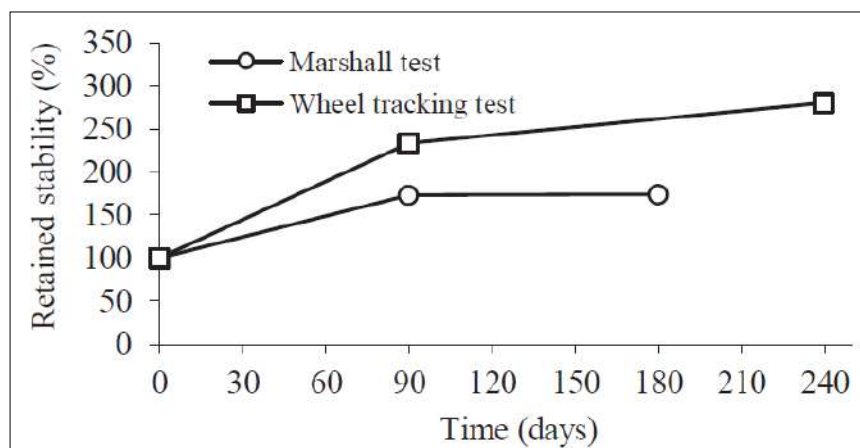
A = nilai absolut kehilangan kekuatan selama satu hari (kg)

S₀ = nilai absolut kekuatan awal (kg)

Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai A < S₀. Sehingga memungkinkan untuk menyatakan nilai absolut kekuatan sisa satu hari (SA) sebagai berikut:

$$\overline{S}_A = (S_0 - A) \dots\dots\dots (2.7)$$

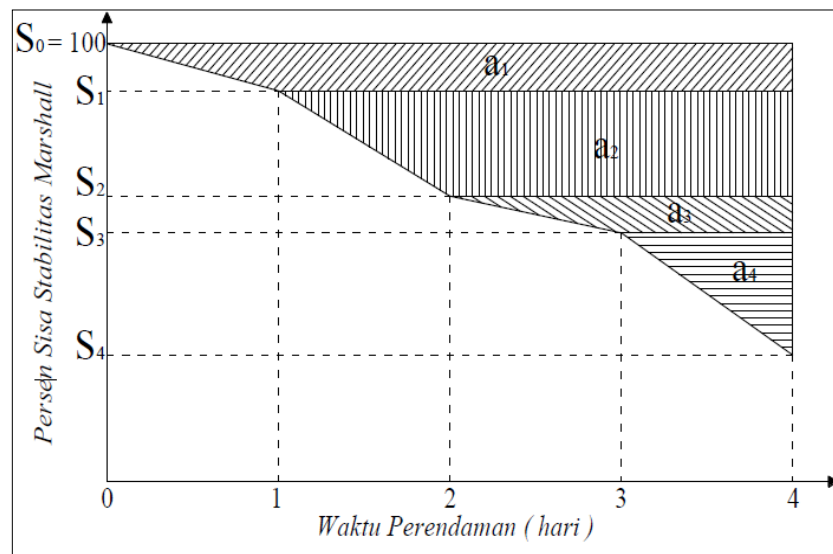
Tingkat durabilitas campuran beraspal berdasarkan indeks durabilitas pertama dapat digambarkan dalam bentuk kurva yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2.1. Kurva indeks durabilitas pertama.

Sumber: Karami, 2017.

Sedangkan tingkat durabilitas campuran beraspal berdasarkan indeks durabilitas kedua dilihat pada Gambar 2.2. berikut ini.

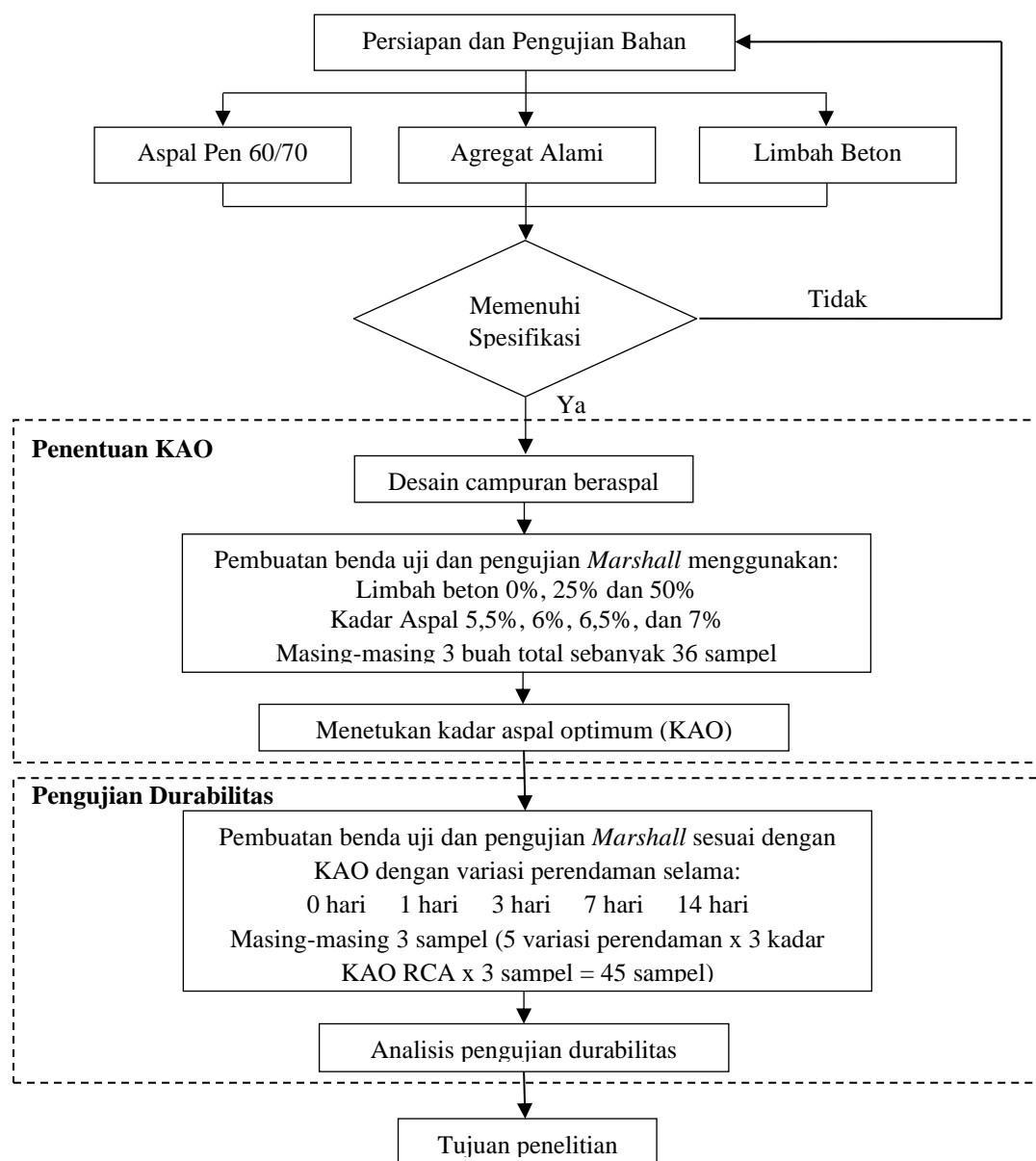


Gambar 2.2. Kurva indeks durabilitas kedua.
Sumber: Craus et al., 1981.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini tercantum pada diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.2.Persiapan dan Pengujian Material

Pada tahap pertama dalam penelitian ini, material yang digunakan antara lain:

3.2.1.Agregat

Terdapat dua jenis agregat yang digunakan:

- Agregat Alami

Agregat alami yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan diameter 19 mm dan tertahan saringan diameter 2,36 mm. Agregat halus yang digunakan yaitu agregat yang lolos dari saringan diameter 2,36 mm dan tertahan saringan 0,075 mm.

- Agregat Limbah Beton (RCA)

Limbah beton yang digunakan merupakan RCA yang diambil dari sisa sampel pengujian beton di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Metode yang digunakan untuk mengolah RCA adalah dengan penghancuran manual. Tahapan penghancurannya antara lain sebagai berikut:

- a. Mengambil limbah beton sisa pengujian tanpa tulangan atau kawat bendrat.



Gambar 3.2. Limbah beton dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi.

- b. Menghancurkan limbah beton menjadi bongkahan-bongkahan agregat yang lebih kecil menggunakan palu.



Gambar 3.3. Menghancurkan limbah Beton.

- c. Mengayak agregat limbah beton menggunakan saringan yang sesuai dengan spesifikasi agregat Bina Marga 2018 untuk agregat lapisan AC-WC. Sehingga didapatkan butiran-butiran agregat yang dibutuhkan, yaitu agregat kasar (Gambar 3.5.(a)), agregat halus (Gambar 3.5.(b)), dan *filler*.



Gambar 3.4. Mengayak Limbah Beton.



(a)



(b)

Gambar 3.5. Agregat Limbah Beton.

1. Alat uji agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin Los Angeles (tes abrasi), alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan).

2. Pengujian agregat

Pengujian agregat meliputi pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian agregat pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Lampiran A1 sampai dengan A10. Standar pengujian agregat, data hasil pengujian agregat alami dan limbah beton dapat dilihat pada berikut ini.

Tabel 3.1. Standar Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu) dan penyerapan agregat halus.	SNI 03-1970:1990
2	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu) dan penyerapan agregat kasar.	SNI 03-1969:1990
3	<i>Los Angeles Test</i>	SNI 03-2417:2008
4	<i>Aggregates Crushing Value</i>	BS 812:part 3:1975
5	<i>Aggregates Impact Value</i>	BS 812:part 3:1975

Tabel 3.2. Hasil Pengujian Agregat Alami

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
A	Agregat Kasar		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,54
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,59
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,68
4	Penyerapan	< 3%	1,96
B	Agregat Halus		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,56
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,60
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,67
4	Penyerapan	< 3%	1,64

Tabel 3.2. (Lanjutan)

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
C	<i>Los Angeles Abrassion</i>	Maks 30%	15,8%
D	<i>Agg. Crushing Value</i>	Maks 30%	0,91%
E	<i>Agregate Impact Value</i>	Maks 40%	6,01%

Tabel 3.3. Hasil Pengujian Agregat Limbah Beton

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
A	Agregat Kasar		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,40
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,49
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,64
4	Penyerapan	< 3%	3,90
B	Agregat Halus		
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,22
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,28
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,38
4	Penyerapan	< 3%	2,95
C	<i>Los Angeles Abrassion</i>	Maks 30%	28,8%
D	<i>Agg. Crushing Value</i>	Maks 1%	2,97%
E	<i>Agregate Impact Value</i>	Maks 40%	13,3%

3.2.2. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang telah memenuhi standar pengujian aspal. Data masing-masing pengujian aspal dapat dilihat pada lampiran A11. Standar pengujian dan nilai rata-rata hasil pengujian aspal dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Spesifikasi	Hasil
1	Penetrasi	0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-70	65,17
2	Berat Jenis	gr/cm^3	SNI 06-2441-1991	≥ 1	1,0148
3	Titik Lembek	$^{\circ}\text{C}$	SNI 06-2434-1991	≥ 48	52
5	Daktilitas	Cm	SNI-06-2432-1991	≥ 100	100

3.2.3. Filler

Filler yang digunakan merupakan material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) dan memenuhi persyaratan SNI 06-6723-2002. *Filler* yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu dan semen portland.

3.3. Desain Campuran Beraspal

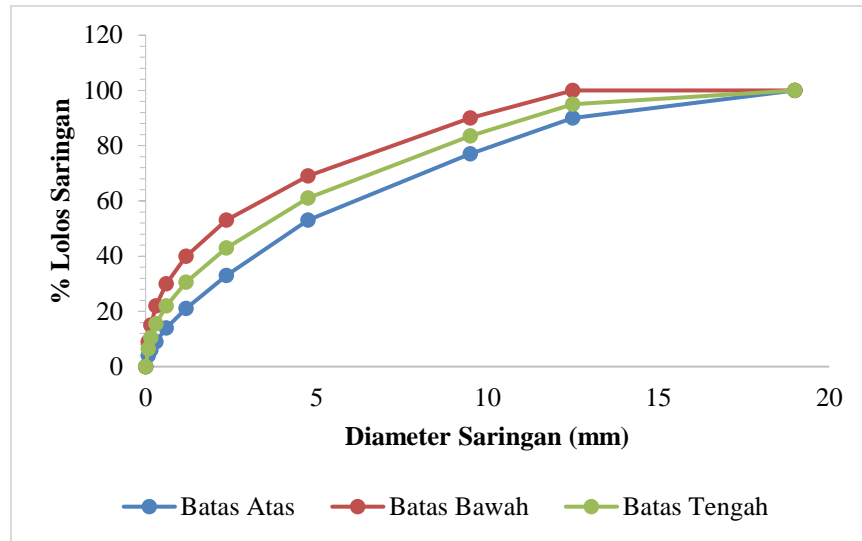
Material dalam penelitian ini telah diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran AC-WC untuk mengetahui apakah bahan telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Desain campuran bertujuan untuk menyeimbangkan komposisi material yang akan digunakan dalam campuran beraspal, agar menghasilkan sifat yang optimal dan tahan terhadap deformasi. Pada penelitian ini menggunakan variasi RCA sebesar 0%, 25%, dan 50% dari total agregat dan kadar aspal rencana yang digunakan kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5%.

3.3.1. Gradasi Agregat

Berdasarkan nilai perkiraan kadar aspal rencana, selanjutnya dilakukan perhitungan proporsi agregat yang memenuhi batas atas dan batas bawah sesuai spesifikasi AC-WC, Gradasi agregat yang digunakan menggunakan nilai batas tengah dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Gradasi Agregat Gabungan

Diameter Saringan (mm)	Gradasi Terpakai (%)	Spesifikasi	
		Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)
19	100	100	100
12,5	95	90	100
9,5	83,5	77	90
4,75	61	53	69
2,36	43	33	53
1,18	30,5	21	40
0,6	22	14	30
0,3	15,5	9	22
0,15	10,5	6	15
0,075	6,5	4	9
Pan (0,001)	0	0	0



Gambar 3.6. Grafik gradasi agregat.

3.3.2. Kepadatan Maksimum Aspal

Pengujian kepadatan maksimum atau berat jenis maksimum aspal menurut Karami (2016) mempunyai tujuan yaitu untuk memperoleh nilai berat jenis maksimum campuran beraspal yang tidak dipadatkan dengan alat pemadat atau butiran aspal dalam keadaan lepas. Berat jenis yang dimaksudkan adalah perbandingan berat benda pada suhu 25°C terhadap berat air pada volume dan temperatur yang sama. Alat yang digunakan untuk berat jenis maksimum yaitu piknometer yang disambungkan dengan pompa vakum untuk pengurangan tekanan.



Gambar 3.7. Alat uji kepadatan maksimum.

Tahapan pengujian kepadatan maksimum sebagai berikut:

1. Menimbang benda uji sebanyak 1200 gram yang sudah terselimuti aspal dengan baik (a).
2. Menghamparkan benda uji kemudian mendinginkannya dengan suhu ruangan) (b). Setelah mengering selanjutnya memisahkan benda uji yang masih menempel satu sama lain.
3. Memasukkan benda uji ke dalam piknometer (c), selanjutnya isi piknometer dengan air sebanyak 1/3 tinggi (d). Ketinggian air tidak menyentuh katup pompa vakum.
4. Memasang katup pompa vakum ke dalam piknometer (e), kemudian menyalakan mesin dan mengatur tekanan sampai ± 30 mmHg.
5. Menggerakkan piknometer secara perlahan, sampai gelembung udara yang terjebak pada benda uji menghilang (f).
6. Membuka katup pompa kemudian isi kembali piknometer dengan air sampai batas yang tertera pada penutup kaca (g). Pastikan tidak ada gelembung udara yang menempel pada penutup kaca.
7. Menimbang berat piknometer, air, dan benda uji (h).

Tahapan pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.8.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar 3.8. Proses pengujian kepadatan maksimum aspal.

Berdasarkan WA 732.2-2011 kepadatan maksimum aspal dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\rho_{\max} = \frac{m_2}{m_2 - (m_3 - m_1)} \times \rho_w \dots \dots \dots (3.1)$$

keterangan:

ρ_{\max} = kepadatan maksimum aspal (gr/cm^3)

ρ_w = berat jenis air (0,997) (gr/cm^3)

m_1 = berat piknometer + air

m_2 = berat benda uji di udara

m_3 = berat piknometer + benda uji + air

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji menggunakan RCA 0% dengan kadar aspal 5,5%:

$$\rho_{\max} = \frac{1200}{1200 - (4307,6 - 3602,6)} \times 0,997 = 2,42 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

Perhitungan selanjutnya untuk kepadatan maksimum campuran pada masing-masing kadar aspal disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Hasil Uji Kepadatan Maksimum Campuran Beraspal

Parameter	RCA (%)	Kadar aspal											
		5,5%			6%			6,5%			7%		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Kepadatan maksimum aspal (t/m ³), ρ max		2,41	2,42	2,42	2,40	2,41	2,41	2,39	2,42	2,39	2,41	2,39	2,35
Kepadatan maksimum rata-rata aspal (t/m ³)	0%	2,42			2,40			2,40			2,38		
Standar deviasi, (t/m ³)		0,007			0,006			0,017			0,031		
Koefisien variasi (%)		0,29			0,23			0,70			1,29		
Kepadatan maksimum aspal (t/m ³), ρ max		2,36	2,36	2,36	2,33	2,36	2,34	2,34	2,31	2,34	2,32	2,32	2,28
Kepadatan maksimum rata-rata aspal (t/m ³)	25%	2,36			2,34			2,33			2,31		
Standar deviasi, (t/m ³)		0,001			0,012			0,016			0,022		
Koefisien variasi (%)		0,06			0,53			0,68			0,94		
Kepadatan maksimum aspal (t/m ³), ρ max		2,33	2,35	2,33	2,32	2,31	2,31	2,29	2,28	2,29	2,24	2,20	2,24
Kepadatan maksimum rata-rata aspal (t/m ³)	50%	2,34			2,31			2,29			2,23		
Standar deviasi, (t/m ³)		0,013			0,007			0,003			0,024		
Koefisien variasi (%)		0,55			0,32			0,14			1,07		

Berdasarkan nilai perkiraan kadar aspal rencana dan kepadatan maksimum yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya, maka selanjutnya dilakukan perhitungan proporsi berat campuran beraspal yang diperlukan untuk sebuah benda uji. Sehingga dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Berat campuran aspal} = \frac{1}{4}\pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \rho_{\text{maks}} \cdot (100 - \text{VIM}) \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana:

$$D = 10,16 \text{ cm} ; h = 6,35 \text{ cm}$$

$$\text{VIM (4-6\%)} = 100\% - \text{VIM} = 100\% - 5\% = 95\%$$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji menggunakan RCA 0% dengan kadar aspal 5,5% dan kepadatan maksimum 2,42 gr/cm³ yang akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Berat campuran aspal} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \rho_{\text{maks}} \cdot (100 - \text{VIM}) \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (10,16)^2 \times (6,35) \times (2,42) \times (100\% - 5\%) \\ &= 1182,09 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= \text{berat sampel} \times \text{kadar aspal} \\ &= 1182,09 \times 5,5\% \\ &= 65,02 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat} &= \text{berat campuran aspal} - \text{berat aspal} \\ &= 1182,09 - 65,02 \\ &= 1117,08 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya untuk variasi RCA 0%, 25% dan 50% disajikan pada tabel 3.7. berikut ini.

Tabel 3.7. Proporsi Berat Campuran Beraspal.

Persentase RCA	Kadar Aspal	Parameter berat (gr)		
		Campuran aspal	Aspal	Agregat
RCA 0%	5,5%	1182,09	65,02	1117,08
	6%	1175,73	70,54	1105,19
	6,5%	1174,27	76,33	1097,94
	7%	1163,95	81,48	1082,47
RCA 25%	5,5%	1155,93	63,58	1092,35
	6%	1146,63	68,80	1077,84
	6,5%	1138,91	74,03	1064,88
	7%	1128,93	79,03	1049,91
RCA 50%	5,5%	1142,33	62,83	1079,50
	6%	1131,33	67,88	1063,45
	6,5%	1118,22	72,68	1045,53
	7%	1088,96	76,23	1012,74

Setelah didapatkan berat campuran seperti ditunjukkan pada tabel 3.7. Selanjutnya berat agregat sesuaikan berdasarkan diameter saringan yang akan digunakan. Proporsi agregat pada masing-masing saringan dapat dilihat pada Tabel 3.8, Tabel 3.9, dan Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3.8. Berat Agregat Per-Saringan untuk RCA 0%

Diameter saringan (mm)	Kadar Aspal (%)							
	5,5%		6%		6,5%		7%	
	Ag. Alam (100%)	RCA (0%)	Ag. Alam (100%)	RCA (0%)	Ag. Alam (100%)	RCA (0%)	Ag. Alam (100%)	RCA (0%)
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,5	55,9	0,0	55,3	0,0	54,9	0,0	54,1	0,0
9,5	128,5	0,0	127,1	0,0	126,3	0,0	124,5	0,0
4,75	251,3	0,0	248,7	0,0	247,0	0,0	243,6	0,0
2,36	201,1	0,0	198,9	0,0	197,6	0,0	194,8	0,0
1,18	139,6	0,0	138,1	0,0	137,2	0,0	135,3	0,0
0,6	95,0	0,0	93,9	0,0	93,3	0,0	92,0	0,0
0,3	72,6	0,0	71,8	0,0	71,4	0,0	70,4	0,0
0,15	55,9	0,0	55,3	0,0	54,9	0,0	54,1	0,0
0,075	44,7	0,0	44,2	0,0	43,9	0,0	43,3	0,0
0,001 (Pan)	72,6	0,0	71,8	0,0	71,4	0,0	70,4	0,0
Berat total agregat (gr)	1117,1		1105,2		1097,9		1082,5	

Tabel 3.9. Berat Agregat Per-Saringan untuk RCA 25%

Diameter saringan (mm)	Kadar Aspal (%)							
	5,5%		6%		6,5%		7%	
	Ag. Alam (75%)	RCA (25%)	Ag. Alam (75%)	RCA (25%)	Ag. Alam (75%)	RCA (25%)	Ag. Alam (75%)	RCA (25%)
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,5	40,96	13,7	40,4	13,5	39,9	13,3	39,4	13,1
9,5	94,2	31,4	93,0	31,0	91,8	30,62	90,6	30,2
4,75	184,3	61,4	181,9	60,6	179,7	59,9	177,2	59,1
2,36	147,5	49,2	145,5	48,5	143,8	47,9	141,7	47,2
1,18	102,4	34,1	101,0	33,7	99,8	33,3	98,4	32,8
0,6	69,6	23,2	68,7	22,9	67,9	22,6	66,9	22,3
0,3	53,3	17,8	52,5	17,5	51,9	17,3	51,2	17,1
0,15	41,0	13,7	40,4	13,5	39,9	13,3	39,4	13,1
0,075	32,77	10,9	32,3	10,8	31,9	10,6	31,5	10,5
0,001 (Pan)	53,3	17,74	52,6	17,6	51,9	17,3	51,2	17,1
Berat total agregat (gr)	1092,4		1077,8		1064,9		1049,9	

Tabel 3.10. Berat Agregat Per-Saringan untuk RCA 50%

Diameter saringan (mm)	Kadar Aspal (%)							
	5,5%		6%		6,5%		7%	
	Ag. Alam (50%)	RCA (50%)	Ag. Alam (50%)	RCA (50%)	Ag. Alam (50%)	RCA (50%)	Ag. Alam (50%)	RCA (50%)
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,5	27,0	27,0	26,6	26,6	26,1	26,1	25,3	25,3
9,5	62,1	62,1	61,1	61,1	60,1	60,1	58,2	58,2
4,75	121,4	121,4	119,6	119,6	117,6	117,6	113,9	113,9
2,36	97,2	97,2	95,7	95,7	94,1	94,1	91,1	91,1
1,18	67,5	67,5	66,5	66,5	65,3	65,3	63,3	63,3
0,6	45,9	45,9	45,2	45,2	44,4	44,4	43,0	43,0
0,3	35,1	35,1	34,6	34,6	34,0	34,0	32,9	32,9
0,15	27,0	27,0	26,6	26,6	26,1	26,1	25,3	25,3
0,075	21,6	21,6	21,3	21,3	20,9	20,9	20,3	20,3
0,001 (Pan)	35,1	35,1	34,6	34,6	34,0	34,0	32,9	32,9
Berat total agregat (gr)	1079,5		1063,4		1045,5		1012,7	

3.4. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian *Marshall*

3.4.1. Pembuatan Benda Uji *Marshall*

Setelah ditentukan proporsi campuran, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji untuk menentukan KAO pada masing-masing komposisi campuran dengan persentase RCA 0%, 25%, dan 50% dari berat total benda uji dengan melakukan pemadatan sebanyak 75 kali tumbukan pada masing-masing sisi. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm. Benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.11. berikut ini.

Tabel 3.11. Pembuatan Benda Uji *Marshall*

Persentase RCA	Kadar Aspal				Jumlah Benda Uji
	5,5%	6 %	6,5%	7%	
0%	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	12
25%	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	12
50%	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	12
Total					36

Tahapan pembuatan benda uji *Marshall* sebagai berikut:

1. Menimbang agregat yang dibutuhkan dengan timbangan ketelitian 0,01 gram (a) untuk pembuatan benda uji yang telah dihitung pada Tabel 3.8 sampai 3.10. Setelah itu, memasukan agregat kedalam oven dengan suhu $\pm 175^{\circ}\text{C}$ (b).
2. Mengeluarkan agregat dari oven, kemudian menimbanginya (c) lalu menuangkan aspal yang telah ditentukan (d) pada Tabel 3.8 sampai 3.10.
3. Menggoreng agregat yang telah dituang aspal hingga tercampur rata (e).
4. Memasukan benda uji yang telah digoreng kedalam mold (f).
5. Menumbuk benda uji sebanyak 75 kali pada sisi atas dan bawah benda uji (g).
6. Setelah didiamkan dengan suhu ruangan, benda uji dilepaskan dari mold (h).

Tahapan pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.9.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar 3.9. Proses pembuatan benda uji *Marshall*.

3.4.2. Pengujian Marshall

Setelah membuat benda uji tahap berikutnya yaitu melakukan pengujian *Marshall*. Berikut ini merupakan tahapan pengujian *Marshall*.

1. Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*.



Gambar 3.10. Alat Uji *Marshall*.

2. Prosedur pengujian *Marshall*
 - a. Mengukur tinggi benda uji (a), berat kering (b), berat benda uji dalam air, dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh.

- b. Melakukan Rendaman benda uji di *waterbath* di dalam air selama 30 menit dengan suhu 60° (c).
- c. Mengeluarkan benda uji (d), kemudian meletakkannya pada alat uji *Marshall* untuk dilakukan pengujian (e).
- d. Mencatat nilai stabilitas dan *flow* (f).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 3.11. Proses pengujian *Marshall*.

3.4.3. Bulk Density dan Kandungan Rongga Campuran

Bulk density atau berat jenis bulk merupakan perbandingan antara berat benda uji kering dengan berat volume. *Void in Mix* atau kandungan rongga dalam campuran adalah volume total yang terdapat dalam benda uji yang telah

dipadatkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis dan kadar rongga udara pada campuran. Hasil kandungan rongga pada masing-masing benda uji dilihat pada Lampiran B2, B5, dan B8. Hasil nilai rata-rata *bulk density* dan kandungan rongga campuran disajikan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12. *Bulk Density* dan Kandungan Rongga Campuran

Parameter	Variasi RCA (%)	Kadar Aspal			
		5,5%	6,0%	6,5%	7%
VIM rata-rata (%)		5,83	4,83	4,59	5,42
Standar deviasi		0,21	0,01	0,35	0,31
Koefisien variasi (%)		3,53	0,25	7,62	5,80
VMA rata-rata (%)		18,2	18,4	19,3	20,0
Standar deviasi	0	0,18	0,01	0,30	0,27
Koefisien variasi (%)		0,98	0,06	1,54	1,33
VFB rata-rata (%)		67,9	73,7	76,2	72,9
Standar deviasi		0,82	0,05	1,44	1,22
Koefisien variasi (%)		1,20	0,07	1,89	1,68
VIM rata-rata (%)		5,97	5,22	4,99	5,37
Standar deviasi		0,33	0,15	0,09	0,40
Koefisien variasi (%)		5,50	2,87	1,89	7,51
VMA rata-rata (%)		18,0	18,4	19,2	19,5
Standar deviasi		0,29	0,13	0,08	0,34
Koefisien variasi (%)		1,59	0,70	0,42	1,76
VFB rata-rata (%)	25	66,9	71,6	74,0	72,5
Standar deviasi		1,31	0,62	0,38	1,57
Koefisien variasi (%)		1,95	0,86	0,51	2,16
VIM rata-rata (%)		5,87	5,33	4,99	4,65
Standar deviasi		0,12	0,39	0,38	0,71
Koefisien variasi (%)		2,08	7,32	7,63	15,3
VMA rata-rata (%)		17,8	18,3	18,9	18,6
Standar deviasi	50	0,11	0,34	0,32	0,61
Koefisien variasi (%)		0,60	1,84	1,72	3,26
VFB rata-rata (%)		67,0	70,9	73,6	75,1
Standar deviasi		0,49	1,59	1,56	3,07
Koefisien variasi (%)		0,74	2,24	2,12	4,09

3.4.4. Stabilitas dan Flow

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Stabilitas bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu campuran aspal menerima beban lalu lintas sampai terjadi

deformasi sedangkan *flow* atau kelelahan adalah besarnya perubahan bentuk yang terjadi akibat beban tersebut. Nilai hasil stabilitas dan *flow* pada masing-masing benda uji dilihat pada Lampiran B3, B6, dan B9. Hasil nilai rata-rata stabilitas dan *flow* disajikan pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13. Hasil Uji Stabilitas dan *Flow*

Parameter	RCA 0%				RCA 25%				RCA 50%			
	Kadar Aspal											
	5,5%	6%	6,5%	7%	5,5%	6%	6,5%	7%	5,5%	6%	6,5%	7%
Stabilitas rata-rata (Kg)	1635,0	1815,6	1631,6	1169,7	1942,7	2189,2	1722,1	1424,5	1895,3	2132,7	2224,8	1404,8
Standar deviasi	0,62	0,50	2,30	0,76	0,91	0,81	1,17	1,34	1,21	2,05	1,17	0,94
Koefisien variasi (%)	0,04	0,03	0,14	0,07	0,05	0,04	0,07	0,09	0,06	0,10	0,05	0,07
Flow rata-rata (mm)	3,3	3,2	3,4	3,5	3,4	3,3	3,8	4,4	3,3	3,0	2,57	3,1
Standar deviasi	0,005	0,009	0,009	0,018	0,003	0,005	0,007	0,009	0,005	0,004	0,007	0,008
Koefisien variasi (%)	0,14	0,28	0,25	0,52	0,07	0,14	0,19	0,21	0,14	0,14	0,28	0,26

3.5. Menentukan Kadar Aspal Optimum

Setelah dilakukan pengujian *Marshall*, selanjutnya menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO). Kadar aspal optimum bertujuan menentukan besarnya kadar aspal optimum efektif dalam campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji baru. Pada penelitian ini menggunakan *Marshall Mix Design* sebagai metode dalam menentukan kadar aspal optimum berdasarkan spesifikasi 504 *Main Roads Western Australia*. Berdasarkan spesifikasi ini, campuran aspal disesuaikan dengan standar pengujian untuk metode desain *Marshall* yang ditunjukkan pada Tabel 3.14 untuk mengetahui kadar pengikat yang optimal. Untuk mencapai nilai batas karakteristik *Marshall* ditunjukkan pada Tabel 3.15. Dalam penelitian ini, rongga dalam campuran direncanakan untuk mencapai kadar rongga udara 5% dengan pemadatan 75 tumbukan, dimana kisaran rongga udara 4% - 7% sesuai dengan spesifikasi 504 yang ditunjukkan pada Tabel 3.15. Tabel 3.16 merupakan hasil nilai VIM rata-rata yang didapatkan setelah proses pengujian *Marshall*.

Berdasarkan Austroads (2013), pada table *methods of mix design for SMA* di Australia dijelaskan bahwa jika tidak tersedia pemadat *Gyratory* maka dapat menggunakan pemadat *Marshall* dengan 75 pukulan yang setara dengan 120 *cycles* pada pemadat *Gyratory*.

Tabel 3.14. Parameter Desain Untuk Campuran Aspal Bergradasi Padat

Parameter	Standar
<i>Maximum density of asphalt: Rice Method</i>	WA 732.2
<i>Bulk density</i> dan kandungan rongga aspal	WA 733.1
Stabilitas dan <i>flow</i> : Metode <i>Marshall</i>	WA 731.1

Tabel 3.15. Karakteristik Marshall Untuk Campuran Aspal (Spesifikasi 504)

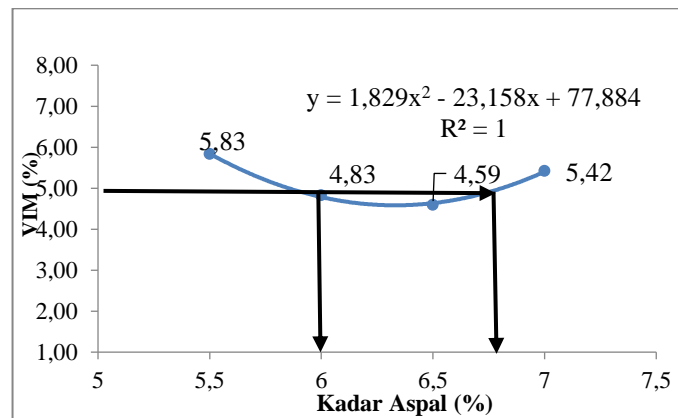
Parameter	Nilai	
	Minimum	Maksimum
Stabilitas Marshall	8,0 kN	-
<i>Flow</i> Marshall	2,0 mm	4,0 mm
<i>Void In Mix</i>	4,0%	7,0%
<i>Void in Mineral Aggregate</i>	14,0%	

Tabel 3.16. *Void In Mix* Rata-rata

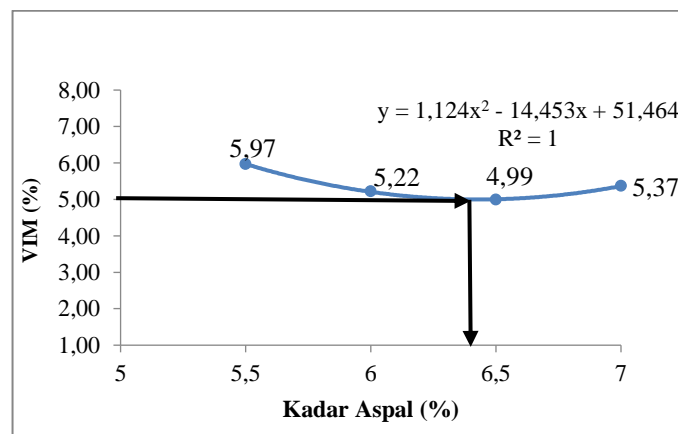
RCA	VIM Rata-Rata (%)			
	Kadar Aspal			
	5,5%	6,0%	6,5%	7%
0%	5,83	4,83	4,59	5,42
25%	5,97	5,22	4,99	5,37
50%	5,87	5,33	4,99	4,65

Setelah nilai VIM didapatkan, kemudian didapatkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.14, 3.15, dan 3.16. Berdasarkan Tabel 3.15 untuk parameter VIM yaitu

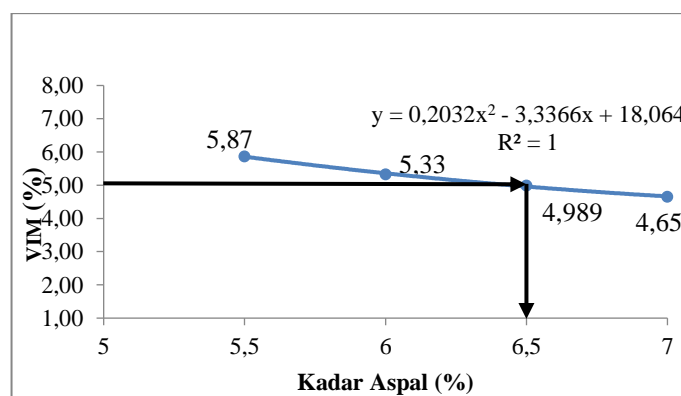
4%-7%, penelitian ini mengambil VIM 5% sebagai parameter untuk menentukan kadar bahan pengikat yang optimal (KAO).



Gambar 3.12. Menentukan kadar aspal optimum RCA 0%.



Gambar 3.13. Menentukan kadar aspal optimum RCA 25%.



Gambar 3.14. Menentukan kadar aspal optimum RCA 50%.

Berdasarkan grafik VIM diatas, didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) pada masing-masing variasi RCA seperti pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17. Kadar Aspal Optimum

Persentase RCA	0%	25%	50%
KAO	6,0%	6,4%	6,5%

3.6. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Durabilitas

3.6.1. Kepadatan Maksimum KAO

Pada tahap sebelumnya, untuk RCA 0% dengan KAO 6% dan RCA 50% dengan KAO 6,5% telah didapatkan nilai kadar kepadatan maksimum seperti pada Tabel 3.6. Sedangkan untuk RCA 25% dengan KAO 6,4% dilakukan pengujian kepadatan maksimum kembali. Untuk tahapan pengujian dapat terlihat pada gambar 3.7. Uji kepadatan maksimum aspal. Nilai kepadatan maksimum campuran pada masing-masing kadar aspal optimum disajikan pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18. Hasil Uji Kepadatan Maksimum KAO

Parameter	RCA 0%		RCA 25%			RCA 50%			
	6,0%		6,4%			6,5%			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Berat jenis air pada suhu 25°C (t/m^3), ρ_w	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
Berat piknometer di air (gr), m_1	3602,6	3602,6	3602,6	3602,6	3602,6	3602,6	3602,6	3602,6	3602,6
Berat benda uji di udara (gr), m_2	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Berat benda uji + piknometer + air (gr), m_3	4303,6	4305,5	4305,7	4290,4	4290,2	4290,2	4279,3	4278,6	4280,1
Kepadatan maksimum aspal (t/m^3), ρ_{max}	2,40	2,41	2,41	2,34	2,33	2,33	2,29	2,28	2,29
Kepadatan maksimum rata-rata aspal (t/m^3)	2,40		2,34			2,29			
Standar deviasi, (t/m^3)	0,006		0,001			0,003			
Koefisien variasi (%)	0,23		0,02			0,14			

3.6.2. Pembuatan Benda Uji Durabilitas

Berdasarkan nilai kadar aspal optimum pada Tabel 3.16 dan nilai kepadatan maksimum yang telah diperoleh pada Tabel 3.17., selanjutnya dilakukan perhitungan proporsi berat campuran beraspal yang diperlukan untuk membuat benda uji dengan perhitungan yang sama seperti sebelumnya dan didapatkan proporsi berat campuran seperti terlihat pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19. Proporsi Berat Campuran dengan Kadar Aspal Optimum.

Parameter	RCA 0%	RCA 25%	RCA 50%
	6%	6,4%	6,5%
Berat campuran aspal (gr)	1175,7	1142,1	1118,2
Berat aspal (gr)	70,54	73,1	72,7
Berat agregat (gr)	1105,2	1069,0	1045,5

Selanjutnya berat agregat dibagi berdasarkan diameter saringan yang akan digunakan. Proporsi berat agregat pada masing-masing saringan dapat dilihat pada Tabel 3.20.

Tabel 3.20. Berat Agregat Per Saringan

Diameter saringan (mm)	RCA 0%	RCA 25%	RCA 50%		
	6%	6,4%	6,5%		
	Ag. Alam (100%)	Ag. Alam (75%)	RCA (25%)	Ag. Alam (50%)	RCA (50%)
19	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0
12,5	55,3	40,1	13,36	26,1	26,1
9,5	127,1	92,2	30,73	60,1	60,1
4,75	248,7	180,4	60,13	117,6	117,6
2,36	198,9	144,3	48,10	94,1	94,1
1,18	138,1	100,2	33,41	65,3	65,3
0,6	93,9	68,1	22,72	44,4	44,4
0,3	71,8	52,1	17,37	34,0	34,0
0,15	55,3	40,1	13,36	26,1	26,1
0,075	44,2	32,1	10,69	20,9	20,9
0,001 (Pan)	71,8	52,1	17,37	34,0	34,0
Berat total agregat (gr)	1105,2	1069,0		1045,5	

Setelah ditentukan proporsi campuran maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji untuk pengujian lanjutan. Jumlah benda uji yang diperlukan untuk pengujian stabilitas dapat dilihat pada Tabel 3.21.

Tabel 3.21. Pembuatan Benda Uji Durabilitas

Lama Perendaman	Persentase RCA			Jumlah benda uji
	0%	25 %	50%	
0 hari	3 buah	3 buah	3 buah	9
1 hari	3 buah	3 buah	3 buah	9
3 hari	3 buah	3 buah	3 buah	9
7 hari	3 buah	3 buah	3 buah	9
14 hari	3 buah	3 buah	3 buah	9
	Total			45

3.6.3. Pengujian Durabilitas

Untuk melakukan pengujian durabilitas, dibutuhkan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai stabilitas yang akan diubah menjadi nilai durabilitas. Berikut ini merupakan tahapan pengujian *Marshall*.

1. Mempersiapkan alat uji *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*.

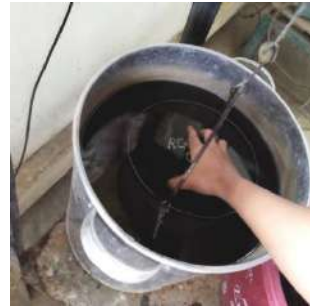
2. Prosedur pengujian *Marshall*

- a. Pemeriksaan tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm menggunakan jangka sorong (a).
- b. Menimbang berat kering, berat benda uji dalam air (b), dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
- c. Melakukan rendaman benda uji sesuai variasi lama rendaman 0 hari, 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 14 hari (c).
- d. Setelah melaksanakan perendaman sesuai lama perendaman, lalu merendam benda uji di *waterbath* (d) selama 30 s/d 40 menit dengan suhu $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$.

- e. Benda uji dikeluarkan (e) kemudian diletakan pada alat uji *Marshall* untuk dilakukan pengujian (f).
- f. Pembebanan benda uji dilakukan sampai pembebanan maksimum tercapai atau menurun seperti yang ditunjukan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum stabilitas yang di capai.
- g. Mencatat nilai kelelahan (*flow*) dan stabilitas yang ditunjukan oleh jarum arloji (g).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Gambar 3.15. Proses pengujian *Marshall*.

3.7. Analisis

Berdasarkan pengujian *Marshall* yang telah dilakukan. pada tahap analisis penelitian ini dilakukan analisis durabilitas campuran beraspal menggunakan Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Dari ketiga nilai tersebut akan memperlihatkan seberapa kuat campuran beraspal menahan faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas rendaman terhadap persentase RCA. Setelah tahap analisis dilakukan selanjutnya ke tahap tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Recycled Concrete Agreggat* (RCA) terhadap durabilitas campuran AC-WC.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil simpulan pengaruh penggunaan RCA terhadap durabilitas campuran AC-WC sebagai berikut:

1. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang diperoleh pada persentase RCA 0%, 25% ,dan 50% memenuhi standar persyaratan Bina Marga (2020), namun nilainya cenderung menurun seiring penambahan persentase RCA lama perendaman. Hal ini menunjukkan semakin besar persentase RCA dalam campuran beraspal maka semakin menurunkan nilai IKS.
2. Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) yang diperoleh untuk persentase RCA 0%, 25%, dan 50%, semakin menurun seiring penambahan kadar RCA dan lama perendaman. Hal ini menyebabkan semakin besar kadar RCA yang digunakan, maka kehilangan kekuatan akan semakin besar sehingga, campuran aspal akan menurun durabilitasnya.
3. Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) yang diperoleh untuk persentase RCA 0%, 25%, dan 50%, semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar RCA dan lama perendaman. Nilai kekuatan sisa (S_a) pada kadar RCA 25% dari 1 hari sampai 3 hari berada diatas 90% (memenuhi spesifikasi minimal Bina Marga) dan tidak memiliki perberbedaan nilai terlalu jauh dengan RCA 0%. Hal ini menandakan RCA 25% efektif jika ditambahkan sebagai substitusi agregat. Untuk lama perendaman dari 3 hari hingga 14 hari di RCA 50% menunjukkan nilai kekuatan sisa dibawah 90% sehingga campuran ini tidak memenuhi spesifikasi yang berlaku. Hal ini menandakan pula untuk kadar RCA 50% tidak efektif jika ditambahkan sebagai substitusi agregat.

5.2. Saran

Berdasarkan simpulan di atas dan pengalaman selama penelitian di laboratorium, maka beberapa saran untuk penelitian lanjutan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan bahan tambahan lain sebagai pendamping RCA dikarenakan sifat RCA yang cenderung menurunkan nilai durabilitas campuran beraspal seiring bertambahnya hari.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui durabilitas campuran aspal berbahan dasar RCA menggunakan aspal penetrasi 60/70 pada lapisan AC-BC dan AC-Base.

DAFTAR PUSTAKA

- Andhikatama, A., Widodo, S., & Harnaeni, S. R. (2013). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course Gradasi Kasar. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2, 1–6.
- Austroroads. (2013). Development of a Stone Mastic Asphalt Mix Design Procedure: Selection of Appropriate Compaction Equipment for the Mix Design. Austroroads Technical Report.
- Craus, J., Ishai, I., & Sides, A. (1981). Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties. *Association of Asphalt Paving Technologists*, 50.
- Direktorat Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum. (2020). Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Oktober, 1036.
- Imannurohman, N., Sudarno, S., & Amin, M. (2020). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC). *Reviews in Civil Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.31002/rice.v4i1.2215>
- Karami, M. (2016). Mechanical Properties for Buton Asphalt - Aggregates Mixes Thesis. *Curtin University*. Perth, Australia.
- Karami, M. (2017). Application of the Cementitious Grouts on Stability and Durability of Semi Flexible Bituminous Mixtures. *AIP Conference Proceedings*, 1903. <https://doi.org/10.1063/1.5011492>
- Mainroads Western Australia. (2010). Specification 504 Asphalt Wearing-Course.

Perth, Australia.

Mainroads Western Australia. (2010). WA 731.1-2010. Stability and Flow of Asphalt: Marshall Method. Issue 1-3. Perth, Australia.

Mainroads Western Australia. (2011). WA 732.2-2011. Maximum Density of Asphalt: Rice Method. Issue 1-2. Perth, Australia.

Mainroads Western Australia. (2011). WA 733.1-2011. Bulk Density and Void Content of Asphalt. Issue 1-4. Perth, Australia.

McNeil, K., & Kang, T. H. K. (2013). Recycled Concrete Aggregates: A Review. In *International Journal of Concrete Structures and Materials* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0032-5>

Mejía, E., Tobón, J. I., Osorno, L., & Osorio, W. (2015). Mineralogical Characterization of Urban Construction and Demolition Waste: Potential Use as a Nutrient Source for Degraded Soils. *The Sustainable City X*, 194, 399–413. <https://doi.org/10.2495/sc150351>

Oikonomou, N. D. (2005). Recycled Concrete Aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 315–318. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.020>

Ossa, A., García, J. L., & Botero, E. (2016). Use of Recycled Construction and Demolition Waste (CDW) Aggregates: A Sustainable Alternative for the Pavement Construction Industry. *Journal of Cleaner Production*, 135, 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.088>

Pangemanan, V. C., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). Pengaruh Suhu dan Durasi Terendamnya Perkerasan Beraspal Panas Terhadap Stabilitas Dan Kelelahan (Flow). *Sipil Statik*, 3(2), 85–90. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/6862>

Rodrigues, F., Carvalho, M. T., Evangelista, L., & De Brito, J. (2013). Physical-Chemical and Mineralogical Characterization of Fine Aggregates from

Construction and Demolition Waste Recycling Plants. *Journal of Cleaner Production*, 52, 438–445. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.023>

Setiawan, A. D. A., Sunarjono, S., & Riyanto, A. (2014). Pengaruh Penuaan dan Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 2071–2079.

Shen, D. H., Kuo, M. F., & Du, J. C. (2005). Properties of Gap-Aggregate Gradation Asphalt Mixture and Permanent Deformation. *Construction and Building Materials*, 19(2). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.005>

Sidi, M. P., Wedyantadji, B., & Erfan, M. (2020). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete -Wearing Course, AC-WC).

Sukirman, S. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Wahyudiono, H., Sudjati, S., Winarno, B., & Budi, K. C. (2020). Modifikasi Laston AC-WC Menggunakan Limbah Bongkaran Beton. *Jurnal Teknik*, 12(1). <https://doi.org/10.30736/jt.v12i1.398>

Wardana, H. W., Mahardi, P., & Risdianto, Y. (2020). Penentuan Kadar Aspal Optimum (Kao) Dalam Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(2).