

Kinerja Campuran Aspal Porus yang Menggunakan Limbah Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dengan Metode Pencampuran Wet Process

Dirga Nofelix¹, Ermitha Ambun Rombe Dendo², Henrianto Masiku³

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

^{2,3} Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

corresponding author : dirganofelix@gmail.com

ABSTRAK

Kata Kunci:

Aspal Porus
Limbah Plastik LDPE
Marshall
Wet Process
Kadar Aspal Optimum

Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik Marshall campuran aspal porus dan pengaruh penambahan limbah plastik low density polyethylene (LDPE) sebesar 5% dari berat aspal dengan metode pencampuran basah (wet process). Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja dengan aspal penetrasi 60/70 dan spesifikasi Australian Asphalt Pavement Association (AAPA). Benda uji dibuat pada kadar aspal 4,0–6,0% untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO), kemudian diuji pada KAO dengan perendaman 30 menit dan 24 jam. Pada campuran normal, VIM berada pada 12,12–19,95% dan memenuhi syarat 18–25% pada kadar aspal sekitar 4,3–5,5%, stabilitas 958,72–1175,26 kg, dan flow 2,27–2,99 mm. KAO campuran normal ditetapkan 4,85% dan campuran dengan 5% LDPE 5,20%. Pada KAO, penambahan LDPE meningkatkan VIM dari 20,41% menjadi 21,87% (+7,15%) pada perendaman 30 menit dan dari 19,75% menjadi 20,47% (+3,65%) pada perendaman 24 jam, serta meningkatkan stabilitas dari 984,46 kg menjadi 1160,42 kg (+17,87%) dan dari 964,84 kg menjadi 1073,64 kg (+11,28%), dengan flow turun 3,36% dan 10,37%. Indeks stabilitas sisa setelah perendaman 24 jam adalah 98,0% pada campuran normal dan 92,5% pada campuran LDPE, keduanya di atas 90%. Limbah plastik LDPE berpotensi meningkatkan stabilitas campuran aspal porus dengan VIM dan flow yang tetap memenuhi spesifikasi.

Keywords:

Porous Asphalt
LDPE Plastic Waste
Marshall
Wet Process
Optimum Asphalt Content

ABSTRACT

This study aims to determine the Marshall characteristics of porous asphalt mixtures and the effect of adding low density polyethylene (LDPE) plastic waste at 5% by weight of asphalt using the wet process. The research was conducted experimentally at the Civil Engineering Laboratory of Universitas Kristen Indonesia Toraja using 60/70 penetration asphalt and the Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) specification. Specimens were prepared at asphalt contents of 4.0–6.0% to determine the optimum asphalt content (OAC) and were then tested at the OAC after 30-minute and 24-hour immersion. In the normal mixture, VIM ranged from 12.12% to 19.95% and met the 18–25% requirement at asphalt contents of about 4.3–5.5%, stability ranged from 958.72 to 1175.26 kg, and flow ranged from 2.27 to 2.99 mm. The OAC was set at 4.85% for the normal mixture and 5.20% for the mixture with 5% LDPE. At the OAC, adding LDPE increased VIM from 20.41% to 21.87% (+7.15%) after 30-minute immersion and from 19.75% to 20.47% (+3.65%) after 24-hour immersion, and increased stability from 984.46 kg to 1160.42 kg (+17.87%) and from 964.84 kg to 1073.64 kg (+11.28%), while flow decreased by 3.36% and 10.37%. The retained stability index after 24-hour immersion was 98.0% for the normal mixture and 92.5% for the LDPE mixture, both above 90%. LDPE plastic waste has the potential to increase the stability of porous asphalt mixtures while keeping VIM and flow within the specification.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license.



I. Pendahuluan

Keselamatan perkerasan jalan berkaitan erat dengan kekesatan permukaan, genangan air saat hujan, dan kebisingan lalu lintas. Indonesia sebagai negara tropis dengan curah hujan tinggi memerlukan jenis perkerasan yang mampu mengurangi risiko akibat kondisi tersebut. Atas dasar itu dikembangkan perkerasan aspal porous, yaitu lapis permukaan yang didesain berpori untuk mengalirkan air dari permukaan jalan ke saluran samping, sementara lapisan di bawahnya tetap kedap air sehingga air tidak meresap ke lapis pondasi.

Aspal porous merupakan campuran beraspal bergradasi terbuka dengan rongga udara sekitar 18–25% yang meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan serta mengurangi kebisingan [1]. Namun, campuran aspal porous umumnya memiliki stabilitas yang rendah karena kekuatannya sangat bergantung pada mutu aspal sebagai pengikat, sehingga diperlukan aspal yang dimodifikasi. Salah satu bahan modifikasi yang potensial adalah limbah plastik, mengingat jumlahnya di Indonesia terus meningkat dan sulit terurai. Limbah plastik jenis low density polyethylene (LDPE), seperti kantong plastik, merupakan salah satu jenis yang paling banyak dijumpai.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa limbah plastik LDPE sebagai bahan tambah campuran aspal berongga AC-WC dengan metode kering memenuhi sebagian besar karakteristik Marshall, kecuali Marshall Quotient (MQ) dan rongga terisi aspal (VFB), serta memenuhi syarat kehilangan berat pada pengujian Cantabro [2]. Penambahan polietilen pada campuran beraspal juga dilaporkan memperpanjang umur layan perkerasan lentur [3]. LDPE merupakan termoplastik hasil polimerisasi radikal bebas bertekanan tinggi dengan densitas 0,910–0,940 g/cm³, tidak reaktif pada suhu ruang, dan dapat didaur ulang, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah aspal [4].

Kajian kinerja aspal porous telah dilakukan antara lain pada aspal porous di Spanyol dan Inggris [5], rongga menerus dan permeabilitas aspal porous lapis ganda [6], aspal porous dengan aspal polimer [7], dan aspal porous dengan pengikat asbuton cair yang diuji Cantabro [8]. Namun, penggunaan limbah plastik LDPE dengan metode basah pada campuran aspal porous dengan material lokal Toraja belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik Marshall campuran aspal porous serta pengaruh penambahan 5% limbah plastik LDPE dengan metode basah terhadap kinerja campuran pada kadar aspal optimum.

II. Metode Penelitian

A. Lokasi dan Bahan Penelitian

Penelitian dilaksanakan secara eksperimental pada tahun 2025 di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Sa'dan, Kabupaten Toraja Utara. Limbah plastik LDPE diperoleh dari Tempat Pembuangan Akhir Tanamalia, Kelurahan Padang Iring, Kecamatan Rantetayo; agregat halus dari Tapparan; agregat kasar dari Lampan, Kecamatan Tondon, Kabupaten Toraja Utara; dan aspal penetrasi 60/70 dari PT Kurnia Jaya Karya di Tallunglipu, Kabupaten Toraja Utara. Agregat kasar dan halus merupakan hasil pemecah batu (stone crusher).

Limbah plastik LDPE ditambahkan sebesar 5% dari berat aspal dengan metode basah (wet process), yaitu plastik dicacah lalu dicampurkan dan dilelehkan ke dalam aspal panas hingga homogen sebelum aspal dicampur dengan agregat. Karakteristik material diuji sesuai standar nasional, yaitu berat jenis dan penyerapan agregat [9], [10], keausan agregat dengan mesin Los Angeles [11], penetrasi aspal [12], dan titik nyala aspal [13].

B. Rancangan Benda Uji

Gradasi agregat gabungan dan persyaratan campuran mengacu pada spesifikasi aspal porous Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) [1], yaitu VIM 18–25%, stabilitas minimum 500 kg, flow 2–6 mm, dan MQ maksimum 400 kg/mm. Benda uji dibuat dalam dua tahap (Tabel 1). Tahap pertama adalah penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan kadar aspal 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, dan 6,0%, masing-masing tiga benda uji, untuk campuran normal dan campuran dengan 5% LDPE. Tahap kedua adalah pengujian pada KAO dengan perendaman 30 menit dan 24 jam, masing-masing tiga benda uji.

Tabel 1. Rancangan Jumlah dan Variasi Benda Uji

Tahap pengujian	Variasi	Jumlah sampel	Total
Penentuan KAO – normal	Kadar aspal 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0%	3 / kadar	15
Penentuan KAO – 5% LDPE	Kadar aspal 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0%	3 / kadar	15
Pengujian pada KAO – normal	Perendaman 30 menit dan 24 jam	3 / variasi	6
Pengujian pada KAO – 5% LDPE	Perendaman 30 menit dan 24 jam	3 / variasi	6
Jumlah			42

C. Pengujian Marshall dan Analisis Data

Pengujian Marshall dilakukan sesuai SNI 06-2489-1991 [14]. Benda uji direndam dalam bak air bersuhu $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 30 menit atau 24 jam, lalu dibebani dengan alat Marshall hingga beban maksimum, dengan waktu dari pengangkatan hingga pembebanan maksimum tidak lebih dari 30 detik. Beban maksimum dicatat sebagai stabilitas dan deformasi pada saat beban maksimum sebagai flow. Marshall Quotient dan indeks stabilitas sisa (IKS) dihitung dengan:

$$MQ = S / F \quad IKS = S_{24 \text{ jam}} / S_{30 \text{ menit}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan S adalah stabilitas (kg) dan F adalah flow (mm). Nilai rata-rata setiap parameter dibandingkan dengan spesifikasi AAPA [1] dan Spesifikasi Umum Bina Marga [15], yang mensyaratkan stabilitas Marshall sisa minimum 90%. KAO ditentukan dengan diagram gabungan dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan VIM, stabilitas, dan flow, kemudian MQ diperiksa pada pengujian di KAO. Pengaruh LDPE dinyatakan sebagai perubahan relatif terhadap campuran normal.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Karakteristik Agregat dan Aspal

Hasil pengujian karakteristik material disajikan pada Tabel 2. Agregat kasar memiliki berat jenis curah 2,57, penyerapan 1,81%, keausan Los Angeles 16,47%, dan indeks kepipihan dan kelonjongan 1,54%, seluruhnya memenuhi persyaratan. Agregat halus memiliki berat jenis curah 2,50 dan penyerapan 1,47%. Penetrasi aspal pada suhu 25°C rata-rata 56,8 (0,1 mm), sedikit di bawah rentang 60–70 untuk aspal penetrasi 60/70, yang menunjukkan bahwa aspal telah sedikit mengeras, kemungkinan karena penuaan selama penyimpanan. Titik nyala aspal sekitar 358°C , jauh di atas batas minimum 232°C .

Tabel 2. Karakteristik Agregat dan Aspal

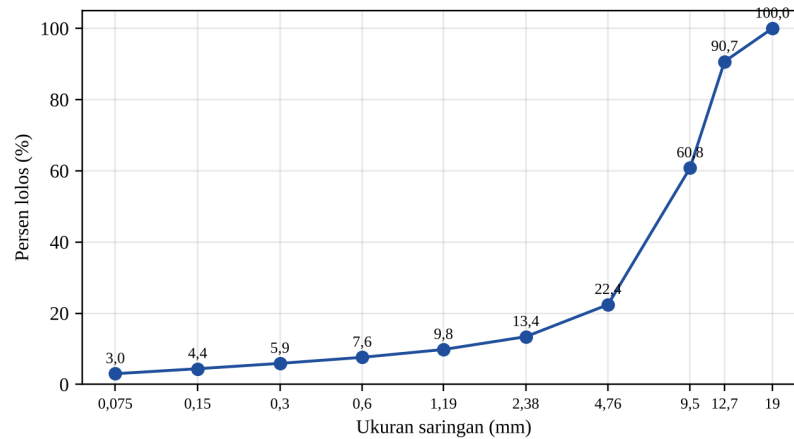
Jenis pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Berat jenis curah agregat kasar	2,57	Min. 2,5	Memenuhi
Penyerapan agregat kasar (%)	1,81	Maks. 3	Memenuhi
Keausan Los Angeles agregat kasar (%)	16,47	Maks. 40	Memenuhi
Indeks kepipihan dan kelonjongan (%)	1,54	Maks. 10	Memenuhi
Berat jenis curah agregat halus	2,50	Min. 2,5	Memenuhi
Penyerapan agregat halus (%)	1,47	Maks. 3	Memenuhi
Penetrasi aspal 25°C (0,1 mm)	56,8	60–70	Di bawah rentang
Titik nyala aspal ($^\circ\text{C}$)	≈ 358	Min. 232	Memenuhi

B. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 1. Persen lolos saringan 4,76 mm sebesar 22,4% dan saringan 0,075 mm sebesar 3,0% menunjukkan gradasi terbuka dengan kandungan agregat halus dan bahan pengisi yang rendah. Gradasi semacam ini menghasilkan kerangka agregat kasar yang saling mengunci dengan rongga yang saling terhubung, sehingga air dapat mengalir melalui campuran sesuai dengan konsep aspal porus [6].

Tabel 3. Gradasi Agregat Gabungan Campuran Aspal Porus

Ukuran saringan (mm)	Tertahan kumulatif (%)	Lolos (%)
19,0	0,0	100,0
12,7	9,3	90,7
9,5	39,2	60,8
4,76	77,6	22,4
2,38	86,6	13,4
1,19	90,2	9,8
0,600	92,4	7,6
0,300	94,1	5,9
0,150	95,6	4,4
0,075	97,0	3,0



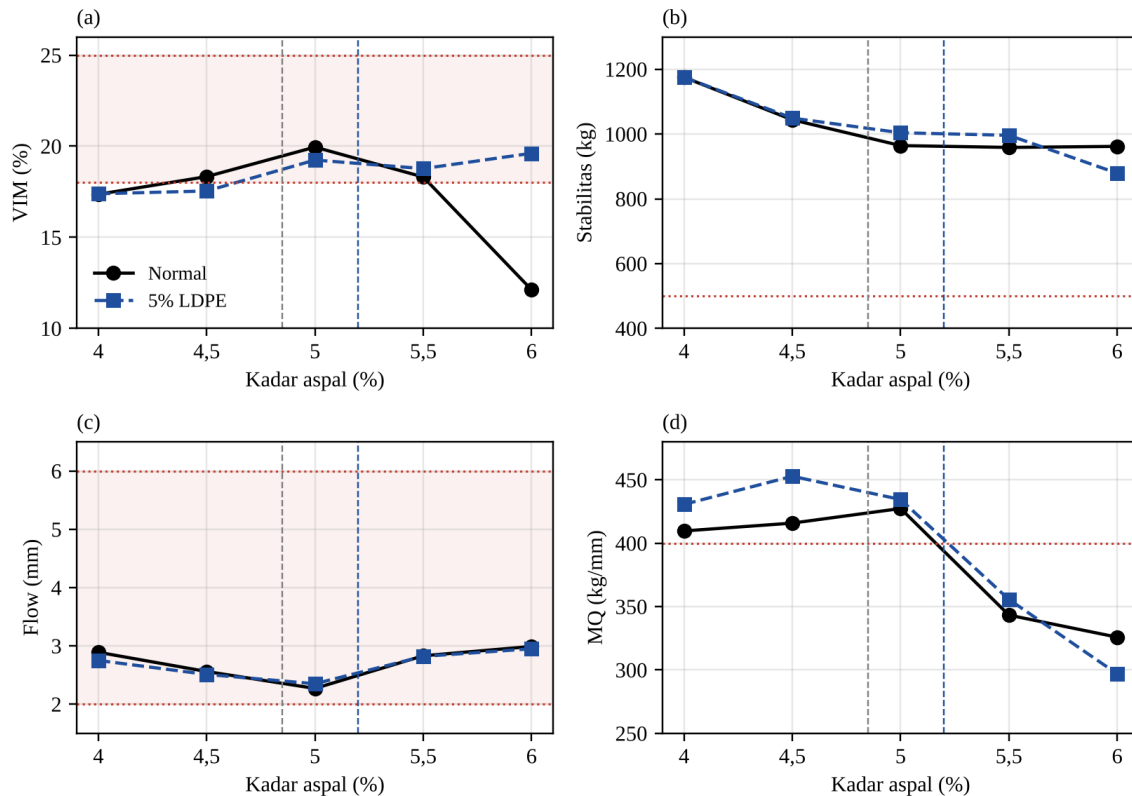
Gambar 1. Kurva Gradasi Agregat Gabungan Campuran Aspal Porus

C. Karakteristik Marshall Campuran Normal dan Campuran LDPE

Hasil pengujian Marshall pada berbagai kadar aspal disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 2. Nilai MQ pada Tabel 4 merupakan rata-rata MQ setiap benda uji, sehingga dapat sedikit berbeda dari perbandingan stabilitas rata-rata dan flow rata-rata.

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall Campuran Normal dan Campuran dengan 5% LDPE

Kadar aspal (%)	VIM normal (%)	VIM LDPE (%)	Stabilitas normal (kg)	Stabilitas LDPE (kg)	Flow normal (mm)	Flow LDPE (mm)	MQ normal (kg/mm)	MQ LDPE (kg/mm)
4,0	17,36	17,39	1175,26	1175,58	2,89	2,75	409,66	430,62
4,5	18,33	17,54	1043,96	1049,23	2,56	2,51	415,85	452,81
5,0	19,95	19,24	964,36	1003,92	2,27	2,35	427,36	434,46
5,5	18,31	18,77	958,72	996,11	2,83	2,82	343,27	355,64
6,0	12,12	19,61	961,91	879,12	2,99	2,95	325,86	296,88
Spesifikasi	18–25	18–25	≥ 500	≥ 500	2–6	2–6	≤ 400	≤ 400



Gambar 2. Karakteristik Marshall terhadap Kadar Aspal: (a) VIM; (b) Stabilitas; (c) Flow; (d) MQ (Garis Titik: Batas Spesifikasi; Garis Putus-Putus: KAO)

Pada campuran normal, VIM meningkat dari 17,36% pada kadar aspal 4,0% menjadi 19,95% pada kadar 5,0%, kemudian turun menjadi 18,31% pada 5,5% dan 12,12% pada 6,0%. Penurunan tajam pada kadar 6,0% terjadi karena aspal yang berlebih mengisi rongga antaragregat. Pola VIM yang meningkat pada kadar aspal 4,0–5,0% berbeda dari pola umum campuran beraspal, yaitu VIM menurun dengan bertambahnya kadar aspal, dan kemungkinan dipengaruhi oleh variasi pemadatan antarbenda uji. Berdasarkan interpolasi, VIM memenuhi syarat 18–25% pada kadar aspal sekitar 4,33–5,53%.

Pada campuran dengan 5% LDPE, VIM berada pada 17,39–19,61% dan memenuhi syarat pada kadar aspal di atas sekitar 4,64%. Pada kadar 6,0%, VIM campuran LDPE (19,61%) jauh lebih tinggi daripada campuran normal (12,12%). Aspal yang dimodifikasi LDPE memiliki viskositas yang lebih tinggi sehingga campuran lebih sulit dipadatkan dan rongga udara lebih banyak tertahan [3], [16].

Stabilitas kedua campuran menurun dengan bertambahnya kadar aspal, dari sekitar 1175 kg pada kadar 4,0% menjadi 958,72 kg (normal) dan 879,12 kg (LDPE) pada kadar 6,0%, tetapi seluruhnya jauh di atas syarat minimum 500 kg. Pada kadar aspal 5,0–5,5%, stabilitas campuran LDPE lebih tinggi 3,9–4,1% daripada campuran normal. Flow kedua campuran berada pada 2,27–2,99 mm dan seluruhnya memenuhi rentang 2–6 mm.

Nilai MQ kedua campuran pada kadar aspal 4,0–5,0% berada pada 409,66–452,81 kg/mm, di atas batas maksimum 400 kg/mm, dan baru memenuhi syarat pada kadar aspal 5,5% dan 6,0%. Berdasarkan interpolasi, MQ memenuhi syarat pada kadar aspal di atas sekitar 5,16% untuk campuran normal dan 5,22% untuk campuran LDPE. Campuran LDPE memiliki MQ yang lebih tinggi pada kadar aspal 4,0–5,5%, yang menunjukkan campuran yang lebih kaku akibat penambahan plastik [3].

D. Kadar Aspal Optimum

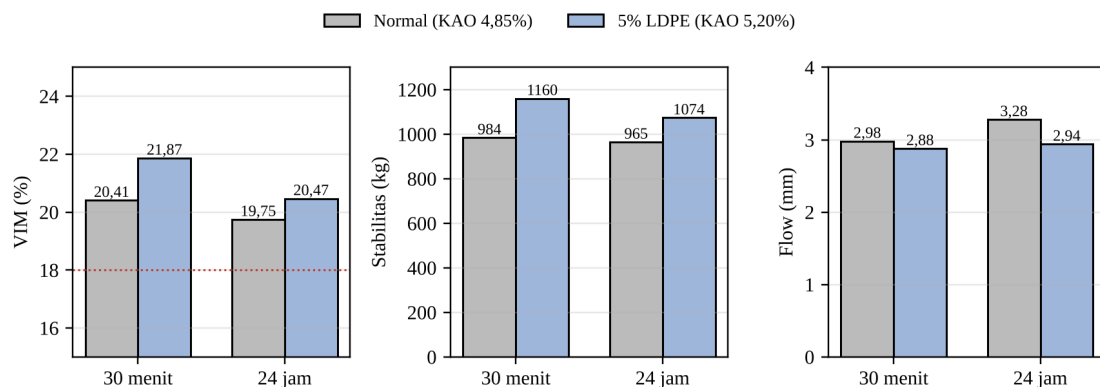
Rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan VIM, stabilitas, dan flow secara bersamaan adalah sekitar 4,33–5,53% untuk campuran normal dan 4,64–6,0% untuk campuran LDPE. Dari diagram gabungan, KAO ditetapkan sebesar 4,85% untuk campuran normal dan 5,20% untuk campuran dengan 5% LDPE. Kenaikan KAO akibat penambahan LDPE sejalan dengan hasil penelitian pada campuran AC-WC dengan LDPE [17]. Karena MQ pada kadar 4,0–5,0% melampaui 400 kg/mm, MQ diperiksa kembali pada benda uji tahap kedua di KAO.

E. Pengaruh LDPE pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian pada KAO disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 3. Penambahan 5% LDPE meningkatkan VIM sebesar 7,15% pada kelompok perendaman 30 menit dan 3,65% pada kelompok perendaman 24 jam, dengan seluruh nilai tetap dalam rentang 18–25%. Perbedaan VIM antara kelompok perendaman 30 menit dan 24 jam berasal dari benda uji yang berbeda, karena VIM dihitung dari berat isi benda uji sebelum perendaman dan tidak dipengaruhi oleh lama perendaman.

Tabel 5. Perbandingan Kinerja Campuran Normal (KAO 4,85%) dan Campuran 5% LDPE (KAO 5,20%)

Parameter	Perendaman	Normal	5% LDPE	Perubahan (%)
VIM (%)	30 menit	20,41	21,87	+7,15
VIM (%)	24 jam	19,75	20,47	+3,65
Stabilitas (kg)	30 menit	984,46	1160,42	+17,87
Stabilitas (kg)	24 jam	964,84	1073,64	+11,28
Flow (mm)	30 menit	2,98	2,88	-3,36
Flow (mm)	24 jam	3,28	2,94	-10,37
MQ (kg/mm)	30 menit	330,4	402,9	+21,9
MQ (kg/mm)	24 jam	294,2	365,2	+24,1
Indeks stabilitas sisa (%)	24 jam / 30 menit	98,0	92,5	-5,6



Gambar 3. Perbandingan VIM, Stabilitas, dan Flow Campuran Normal dan Campuran LDPE pada KAO

Stabilitas campuran LDPE lebih tinggi 17,87% pada perendaman 30 menit dan 11,28% pada perendaman 24 jam. Peningkatan ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa plastik polietilen meningkatkan stabilitas campuran beraspal karena aspal termodifikasi lebih kaku dan memiliki daya ikat yang lebih baik [16], [18], [19]. Flow campuran LDPE sedikit lebih rendah, yaitu turun 3,36% dan 10,37%, tetapi tetap dalam rentang 2–6 mm, sejalan dengan hasil pada campuran laston dengan plastik HDPE [20].

MQ yang dihitung dari stabilitas dan flow rata-rata pada KAO adalah 330 dan 294 kg/mm untuk campuran normal serta 403 dan 365 kg/mm untuk campuran LDPE pada perendaman 30 menit dan 24 jam. Dengan demikian, MQ campuran normal memenuhi syarat maksimum 400 kg/mm, sedangkan MQ campuran LDPE pada perendaman 30 menit berada tepat di sekitar batas tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan LDPE membuat campuran lebih kaku dan perlu diperhatikan agar campuran tidak menjadi getas.

Indeks stabilitas sisa setelah perendaman 24 jam adalah 98,0% untuk campuran normal dan 92,5% untuk campuran LDPE. Keduanya memenuhi syarat minimum 90% [15], sehingga kedua campuran tahan terhadap pengaruh air. Penurunan stabilitas akibat perendaman lebih besar pada campuran LDPE, tetapi stabilitas absolutnya setelah perendaman 24 jam (1073,64 kg) tetap lebih tinggi daripada campuran normal (964,84 kg). Hasil ini sejalan dengan kajian campuran beraspal dengan bahan tambah plastik pada kondisi terendam air [8], [21].

F. Rekapitulasi dan Keterbatasan

Rekapitulasi parameter Marshall pada KAO disajikan pada Tabel 6. Seluruh parameter VIM, stabilitas, flow, dan indeks stabilitas sisa memenuhi spesifikasi pada kedua campuran, sedangkan MQ campuran LDPE pada perendaman 30 menit berada pada batas maksimum. Penelitian ini hanya menggunakan satu kadar LDPE, tidak menguji kehilangan berat Cantabro dan permeabilitas yang merupakan parameter utama aspal porus, dan menggunakan aspal dengan penetrasi sedikit di bawah 60. Penelitian lanjutan disarankan menguji beberapa

kadar LDPE, membandingkan metode basah dan kering, serta melengkapi pengujian Cantabro, permeabilitas, dan drain-down.

Tabel 6. Rekapitulasi Pemenuhan Spesifikasi pada Kadar Aspal Optimum

Parameter	Spesifikasi	Normal (KAO 4,85%)	5% LDPE (KAO 5,20%)	Keterangan
VIM (%)	18–25	19,75–20,41	20,47–21,87	Memenuhi
Stabilitas (kg)	≥ 500	964,84–984,46	1073,64–1160,42	Memenuhi
Flow (mm)	2–6	2,98–3,28	2,88–2,94	Memenuhi
MQ (kg/mm)	≤ 400	294,2–330,4	365,2–402,9	LDPE 30 menit di batas
Indeks stabilitas sisa (%)	≥ 90	98,0	92,5	Memenuhi

IV. Kesimpulan

Campuran aspal porus normal memiliki VIM 12,12–19,95%, stabilitas 958,72–1175,26 kg, dan flow 2,27–2,99 mm pada kadar aspal 4,0–6,0%, dengan VIM memenuhi syarat 18–25% pada kadar aspal sekitar 4,3–5,5%. Penambahan 5% limbah plastik LDPE mempertahankan VIM pada 17,39–19,61% hingga kadar aspal 6,0% dan menaikkan KAO dari 4,85% menjadi 5,20%.

Pada KAO, penambahan 5% LDPE meningkatkan VIM sebesar 7,15% dan 3,65% serta stabilitas sebesar 17,87% dan 11,28% pada perendaman 30 menit dan 24 jam, dengan flow turun 3,36% dan 10,37%. Indeks stabilitas sisa campuran normal dan campuran LDPE adalah 98,0% dan 92,5%, keduanya di atas 90%.

Limbah plastik LDPE dengan metode basah berpotensi meningkatkan stabilitas campuran aspal porus dengan VIM dan flow yang tetap memenuhi spesifikasi, sekaligus memanfaatkan limbah plastik. Kekakuan campuran yang meningkat, yang ditunjukkan oleh MQ di sekitar batas 400 kg/mm, perlu diperhatikan pada penerapannya.

Daftar Pustaka

- [1] Australian Asphalt Pavement Association, *National Asphalt Specification*. Melbourne, Australia: AAPA, 2004.
- [2] Amirullah, “Pemanfaatan limbah plastik pada campuran aspal berongga AC-WC dengan dry process method,” 2019.
- [3] A. I. Al-Hadidy dan Y.-Q. Tan, “Effect of polyethylene on life of flexible pavements,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 3, pp. 1456–1464, 2009.
- [4] W. Wantoro, D. Kusumaningrum, B. H. Setiadi, dan W. Kushardjoko, “Pengaruh penambahan plastik bekas tipe low density polyethylene (LDPE) terhadap kinerja campuran beraspal,” Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2013.
- [5] H. Khalid dan F. Pérez Jiménez, “Performance assessment of Spanish and British porous asphalts,” dalam *Performance and Durability of Bituminous Materials: Proceedings of Symposium*, University of Leeds, 1994.
- [6] I. W. Diana, “Studi rongga menerus dan kinerja permeabilitas perkerasan aspal porus lapis ganda,” 2000.
- [7] M. Nasir, P. Herman, A. Nur, dan T. Harianto, “Kinerja campuran aspal berpori dengan menggunakan aspal polimer Starbit jenis E-55,” *Jurnal Seminar Nasional*, vol. 9, no. 1, 2013.
- [8] V. Anggrainy, “Penggunaan pecahan limbah beton dan batu pecah alam dengan bahan pengikat liquid asbuton terhadap karakteristik kekuatan aspal porus ditinjau dari hasil uji Cantabro test,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1969:2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2016.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1970:2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2016.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2417:2008 Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2008.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2456:2011 Cara Uji Penetrasi Aspal*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2011.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2433:2011 Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Alat Cleveland Open Cup*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2011.

-
- [14] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 06-2489-1991 Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Jakarta, Indonesia: BSN, 1991.
- [15] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta, Indonesia: Kementerian PUPR, 2020.
- [16] T. W. Suroso, "Pengaruh penambahan plastik LDPE (low density polyethylene) cara basah dan cara kering terhadap kinerja campuran beraspal," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung, Indonesia, 2009.
- [17] B. Abd. Razak dan A. Erdiansa, "Karakteristik campuran AC-WC dengan penambahan limbah plastik low density polyethylene (LDPE)," 2016.
- [18] S. Diansari, "Aspal modifikasi dengan penambahan plastik linear low density polyethylene (LLDPE) ditinjau dari karakteristik Marshall dan uji penetrasi pada lapisan aspal beton (AC-BC)," 2016.
- [19] Suhardi, Pratomo, dan Ali, "Studi karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan limbah botol plastik," 2016.
- [20] M. A. Rosyada dan Oftiana, "Pengaruh penambahan plastik high density polyethylene (HDPE) dalam campuran laston," 2013.
- [21] A. Maal, M. S. Pallu, N. Ali, dan I. Ramli, "Experimental study the performance of asphalt concrete which using plastics powder filler in submersed water conditions," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 7, pp. 686–696, 2017.