



Karakteristik Ultrasonic Pulse Velocity Pada Perkerasan Jalan dengan Menggunakan Filler Bata Tahan Api

Syukriah^{a*}, M. Hustim^b, M.W. Tjaronge^b dan R. Irmawaty^b

^a Mahasiswa Doktor, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa, Indonesia 90112

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa, Indonesia 90112

* Corresponding author's e-mail: syukriahkatjo18@gmail.com

Received: 28 May 2024; revised: 13 July 2024; accepted: 14 July 2024

Abstract: Most road pavements in Indonesia use asphalt concrete mixtures. The choice of asphalt concrete is motivated by the fact that the mixture produces a waterproof and durable layer. However, this mixture has weaknesses related to tropical weather conditions. So the mixture is prone to damage, such as potholes and wavy roads. Coupled with heavy transportation equipment passing over the road construction. The development of technology in the field of construction is increasing, one of which is the increasing variety of technology to facilitate road construction work. This research uses the Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester (PUNDIT) tool to perform a density analysis process based on the propagation speed of UPV, and this method has been widely used in Indonesia. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) is a tool used to determine material density. This study aims to determine the average ultrasonic wave propagation velocity in pavements before and after soaking using magnesia/converter type refractory brick filler material. This research was conducted at the Structures and Materials Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. Variations of 5%, 5.5%, 6% asphalt content using AC 60/70 asphalt mixture. Based on this research obtained before soaking: a. The average wave propagation speed of 5%, 5.5%, 6% asphalt content is 3279 m/s, 3473 m/s, 4001 m/s respectively. b The optimal average ultrasonic wave propagation speed value is found at 6% asphalt content, namely 4001 m/s. After soaking: a. The average wave propagation speed of 5%, 5.5%, 6% asphalt content is 3652 m/s, 3667 m/s, 3878 m/s, respectively. b The optimal average ultrasonic wave propagation speed value is found at 6% asphalt content, namely 3878 m/s.

Keywords: UVP, filler, refractory brick, magnesia

Abstrak: Perkerasan jalan yang ada di Indonesia sebagian besar menggunakan campuran beton aspal. Pemilihan beton aspal dilatarbelakangi akan campuran yang menghasilkan lapisan kedap air dan tahan lama. Namun, campuran ini memiliki kelemahan terkait kondisi cuaca tropis. Sehingga campuran rentan terjadi kerusakan, seperti jalan berlubang dan bergelombang. Ditambah dengan alat transportasi berat yang melintas diatas konstruksi jalan tersebut. Perkembangan teknologi dibidang konstruksi semakin meningkat, salah satunya semakin beragamnya teknologi untuk mempermudah suatu pekerjaan konstruksi jalan. Penelitian ini menggunakan alat *Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester* (PUNDIT) untuk melakukan proses analisis kepadatan berdasarkan kecepatan rambat dari UPV, dan metode ini telah banyak digunakan di Indonesia. *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kerapatan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan perambatan gelombang *ultrasonic* merata pada perkerasan jalan sebelum dan sesudah direndam dengan menggunakan material bahan pengisi *filler* bata tahan api *type magnesia/converter*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6% dengan menggunakan campuran aspal AC 60/70. Berdasarkan penelitian ini diperoleh sebelum di rendam :a. cepat rambat gelombang rerata kadar aspal 5 %, 5,5%, 6% berturut-turut sebesar 3279 m/s, 3473 m/s, 4001 m/s. b Nilai kecepatan rambat gelombang ultrasonik rerata optimal terdapat pada kadar aspal 6 % yaitu 4001 m/s. Sedangkan Setelah di rendam : a. cepat rambat gelombang rerata kadar aspal 5 %, 5,5%, 6% berturut-turut sebesar 3652 m/s, 3667 m/s, 3878 m/s. b Nilai kecepatan rambat gelombang ultrasonik rerata optimal terdapat pada Kadar aspal 6 % yaitu 3878 m/s.

Kata kunci: UVP, filler, bata tahan api, magnesia

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dibidang konstruksi semakin meningkat, salah satunya semakin beragamnya teknologi untuk mempermudah suatu pekerjaan konstruksi. Pengaruh positif dari berkembangnya dunia konstruksi adalah kemajuan taraf kehidupan dari suatu daerah. Namun jika tidak dilakukan manajemen yang baik terhadap pekerjaan konstruksi tersebut, maka akan memberikan efek negatif berupa kontruksi jalan yang tidak memenuhi standar kualitas [1], [2]. Fungsi jalan menjadikan hubungan antara daerah menjadi semakin lancar sehingga akan meningkatkan aktifitas diberbagai bidang pembangunan khususnya dalam jasa angkutan [3]. Jalan merupakan sarana yang dibuat atau dibangun untuk mempermudah

transportasi melalui jalur darat, menghubungkan dua tempat atau lebih [4], [5]. Pada tahap ini, jalan diperkeras dengan menggunakan lapisan konstruksi yang mempunyai kekuatan, ketebalan, kekakuan, dan kestabilan tertentu supaya jalan dapat menyalurkan beban kendaraan yang melintas di atas permukaan jalan ke tanah bagian dasar dengan aman [6], [7].

Kondisi sulitnya mengurangi jumlah kendaraan dan terlalu seringnya jalan rusak menuntut alternatif terhadap struktur perkerasan tersebut. Salah satu cara untuk mengatasi kerusakan tersebut adalah memperbaiki kinerja campuran bahan meliputi agregat dan bahan. Modifikasi penggunaan bahan tambah, agregat, aspal, maupun material lain sebagai pengganti komponen campuran dirasa akan memberikan alternatif baru dalam perkerasan jalan.

Pencarian bahan material tambahan yang dapat meningkatkan kinerja konstruksi jalan juga sangat diperlukan. Salah satunya dengan *filler* bata tahan api dengan tipe *magnesia/converter*. Yang merupakan bahan materialnya berasal dari PT. Vale Indonesia, Tbk., yang terletak di Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Propinsi Sulawesi Selatan [8]. Banyaknya limbah abu batu bara yang dihasilkan tidak seiring dengan cara penanganannya. Sebagian besar masih terbatas melalui penimbunan lahan (*landfill*). Jika tidak dimanfaatkan dan tidak ditangani dengan baik, maka dapat berpotensi menimbulkan pencemaran [9]. *Fly ash* adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel yang halus [10].

Untuk merekatkan agregat dan bahan tambah, aspal memainkan peranan penting. Aspal sering didefinisikan sebagai material perekat, berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal diperoleh dari perut bumi maupun hasil dari residu pengilangan minyak bumi. Aspal dari residu minyak bumi ini yang sebagian besar digunakan sebagai bahan perekat konstruksi jalan. Salah satu aspal yang dihasilkan dalam proses residu minyak bumi adalah aspal AC 60/70 [11].

Pada penelitian ini kualitas komposisi material dievaluasi dengan menggunakan hasil perhitungan kecepatan gelombang ultrasonik sebagai satu syarat bahwa kualitas campuran memiliki homogenitas yang baik. Metode yang digunakan untuk mengetahui homogenitas agregat, menggunakan tes *Ultrasonic Pulse Velocity metode indirect* [12]. Metode ini bekerja dengan mengirimkan (*transducer*) gelombang *ultrasonic* dan diterima (*receiver*) dengan jarak tertentu.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kecepatan perambatan gelombang *ultrasonic* rerata dan maksimal pada perkerasan jalan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui besarnya kecepatan perambatan gelombang ultrasonik pada perkerasan jalan dengan menggunakan *filler* bata tahan api.
- 2) Bagaimanakah perbandingan komposisi maksimum terhadap besarnya kecepatan perambatan gelombang ultrasonik.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Hasanuddin Gowa Propinsi Sulawesi Selatan.

2.2. Material

2.2.1. Agregat Kasar

Agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm), dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan [13].

2.2.2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No.8 (2,36 mm), dan tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm) yaitu fraksi agregat halus hasil pecah mesin, atau pasir.

2.2.3. Filler

Bahan pengisi atau *filler* adalah agregat yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Bahan pengisi atau *filler* yang ditambahkan dari limbah bata tahan api tipe *magnesia/converter*.

2.2.4. Aspal

Aspal merupakan instrumen utama yang dipakai untuk pembuatan jalan raya, material ini memiliki sifat fleksibilitas, stabilitas, durabilitas, dan tahan air [14]. Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih besar. Ketentuan aspal penetrasi 60/70.

2.2.5. Ultrasonic Pulse Velocity

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) merupakan salah satu metode *Non Destructive Test* [15] dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh gelombang (Gambar 1). Waktu tempuh gelombang dibaca oleh pengukur waktu pada UPV dan ditampilkan dalam bentuk kecepatan gelombang. *Ultrasonic Pulse Velocity* atau biasa disingkat UPV adalah pengujian NDT campuran aspal dengan menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik untuk meneliti sifat campuran.



Gambar 1. *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) [11]

2.3. Metode dan Tahapan Penelitian

2.3.1. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar untuk perencanaan ini adalah agregat yang lolos saringan 3/4'' dan tertahan di atas saringan 2,36 mm atau saringan no.8. Agregat kasar dalam penelitian ini terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah. Menurut SNI (1990, 1991) ketentuan pengujian bahan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan agregat kasar

No	Karakteristik Agregat Kasar	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Analisa Saringan	SNI03-1968-1990	-	-	-
2	Berat Jenis	SNI03-1970-1990	-	-	2,5
3	Penyerapan Air	SNI03-1970-1990	%	3	-
4	Kadar Air	SNI03-1971-1990	%	5	3
5	Moudulus Keausan	SNI 03-1968-1990	%	7	6

2.3.2 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus dari masing-masing bahan terdiri dari agregat yang lolos saringan no. 8 atau tertahan di saringan no. 200. Agregat halus hasil saringan diklasifikasi menurut ukuran dan sumbernya. Penempatannya pun harus hati-hati karena agregat harus terlindung. Ketentuan tentang agregat halus terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan agregat halus

No	Karakteristik Agregat Halus	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Analisa Saringan	SNI03-1968-1990	-	-	-
2	Berat Jenis	SNI03-1970-1990	-	-	2,5
3	Penyerapan Air	SNI03-1970-1990	%	3	-
4	Kadar Air	SNI03-1970-1990	%	5	3

2.3.3 Filler

Agregat halus dari masing-masing bahan terdiri dari agregat yang lolos saringan no. 8 atau tertahan di saringan no. 200. Agregat halus hasil saringan diklasifikasi menurut ukuran dan sumbernya. Penempatannya pun harus hati-hati karena agregat harus terlindung. Ketentuan tentang agregat halus terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Filler

No	Karakteristik Filler	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Material yang lolos saringan No. 200	SK SNIM-02-1994-03	%	70	-
2	Berat Jenis	AASHTO T-85 -81	-	-	-

2.3.4 Pengujian Aspal

Metode penelitian/pengujian aspal sesuai spesifikasi yang mengacu pada SNI (1991) dengan ketentuan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ketentuan aspal

No	Karakteristik Aspal	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Penetrasi (25oC, 5 detik)	SNI06-2456-1991	0,1 mm	60	79
2	TitikLembek	SNI06-2434-1991	oC	48	58
3	Titik Nyala	SNI06-2433-1991	oC	-	200
4	Titik Bakar	SNI06-2433-1991	oC	-	-
5	Berat Jenis	PA 0307 76	gr/cc	1	-

2.3.5 Langkah Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Pada penelitian ini, pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan metode *direct*. Metode tersebut digunakan untuk mencari kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. Pengujian *direct* dilakukan pada lima kali pembacaan di salah satu permukaan benda uji. Berikut langkah-langkah pengujian:

- a) Sebelum diadakan pengujian UVP alatnya di kalibrasi (Gambar 2).



Gambar 2. Kalibrasi Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)



Gambar 3. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

- b) Benda uji UPV disiapkan dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5% 6%
- c) Setiap variasi terdiri atas 3 benda uji
- d) Pengujian benda uji 1 dilakukan sebelum direndam dan sesudah di rendama selama lima kali pembacaan gelombang antara lain: time (m/s) dan *velocity* (m/s) (Gambar 3).
- e) Pengujian benda uji 2 dan 3 dilakukan seperti pada pengujian benda uji 1.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Agregat Kasar

Pada pengujian agregat kasar di Laboratorium bertujuan untuk mengidentifikasi berat jenis (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturater surface dry*) SSD, berat jenis semu (*apparent*), penyerapan agregat kasar. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Berat jenis agregat kasar

No	Karakteristik Agregat Kasar	Hasil Uji Karakteristik	Sat	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (atas dasar kering oven)	3,12	-	-	2,5
2	Berat Jenis <i>Bulk</i> (atas dasar kering permukaan jenuh)	3,13	%	-	2,5
3	Berat Jenis Semu	3,16	%	-	2,5
4	Penyerapan Air	0,37	%	3	-
5	Kadar Air	0,03		5	3
6	Modulus Kehalusan	7,31		7	6

3.2. Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui nilai dari berat jenis dan penyerapan dalam hal ini yaitu abu batu. Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Berat jenis agregat halus

No	Karakteristik Agregat Halus	Hasil Uji Karakteristik	Sat	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (atas dasar kering oven)	2,59	-	-	2,5
2	Berat Jenis <i>Bulk</i> (atas dasar kering permukaan jenuh)	2,51	%	-	2,5
3	Berat Jenis Semu	2,54	%	-	2,5
4	Penyerapan Air	1,24	%	3	-

3.3. Pengujian Filler (Bata Tahan Api)

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui nilai dari berat jenis dan penyerapan dalam hal ini yaitu abu batu. Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Berat jenis filler (bata tahan api)

No	Karakteristik Filler	Hasil Uji Karakteristik	Sat	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (atas dasar kering oven)	3,20	-	-	2,5
2	Berat Jenis <i>Bulk</i> (atas dasar kering permukaan jenuh)	3,09	%	-	2,5
3	Berat Jenis Semu	3,13	%	-	2,5
4	Penyerapan Air	1,15	%	3	-

3.4. Pengujian Aspal

Pada penelitian ini dilakukan pengujian aspal yang mencakup pengujian berat jenis, titik lembek, titik nyala, penetrasi, dengan hasil seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji karakteristik aspal

No	Karakteristik Aspal	Hasil Uji	Satuan	Spesifikasi	
				Maks	Min
1	Penetrasi (25oC, 5 detik)	60,2	0,1 mm	60	79
2	TitikLembek	48	°C	48	58
3	Titik Nyala	349,9	°C	-	200
4	Berat Jenis	1.03	gr/cc	1	-

3.5. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan alat PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester*) diperoleh hasil UPV seperti pada Tabel 8 dan Tabel 9 untuk kadar aspal 5%..

3.5.1. Kadar Aspal 5%

Tabel 8. Pengujian UPV (sebelum di rendam)

Benda Uji	Time	Velocity (m/s)	Rata -rata	
1	19,4	3093	3106	3279
	19,9	3015		
	18,7	3209		
2	17,2	3488	3462	3279
	17,2	3488		
	17,6	3409		
3	18,7	3209	3269	3279
	18,7	3209		
	17,7	3390		

Tabel 9. Pengujian UPV (setelah di rendam)

Benda Uji	Time	Velocity (m/s)	Rata - rata
1	16,8	3869	3861
	16,8	3869	
	16,9	3846	
2	18,8	3457	3451
	18,8	3457	
	18,9	3439	
3	17,9	3631	3645
	17,9	3631	
	17,7	3672	

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) sebelum direndam nilai kecepatan rambat gelombang rata-rata adalah 3279 m/s, setelah direndam nilai kecepatan rambat gelombang rata-rata adalah 3652 m/s.

3.5.2. Kadar Aspal 5,5%

Hasil pengujian UPV sebelum dan sesudah direndam dengan kadar aspal 5,5% dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Pengujian UPV (sebelum di rendam)

Benda Uji	Time	Velocity (m/s)	Rata - rata
1	17,9	3631	3567
	18,4	3533	
	18,4	3533	
2	18,4	3533	3502
	18,4	3533	
	18,9	3439	
3	19,4	3351	3351
	19,4	3351	
	19,4	3351	

Tabel 11. Pengujian UPV (setelah di rendam)

Benda Uji	Time	Velocity (m/s)	Rata - rata
1	20,4	3333	3350
	20,4	3333	
	20,1	3383	
2	17,3	3931	3938
	17,3	3931	
	17,2	3953	
3	18,3	3716	3744
	18,3	3716	
	17,9	3799	

Berdasarkan Tabel 10 dan Tabel 11 pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) sebelum direndam nilai kecepatan rambat gelombang rata-rata adalah 3473 m/s, setelah direndam nilai kecepatan rambat gelombang rata-rata adalah 3677 m/s.

3.5.3. Kadar Aspal 6%

Hasil pengujian UPV sebelum dan sesudah direndam dengan kadar aspal 6% dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Pengujian UPV (sebelum di rendam)

Benda Uji	Time	Velocity (m/s)	Rata -rata
1	16,8	3869	3877
	16,8	3869	
	16,7	3892	
2	15,2	4276	4258
	15,2	4276	
	15,4	4221	
3	16,8	3869	3869
	16,8	3869	
	16,8	3869	

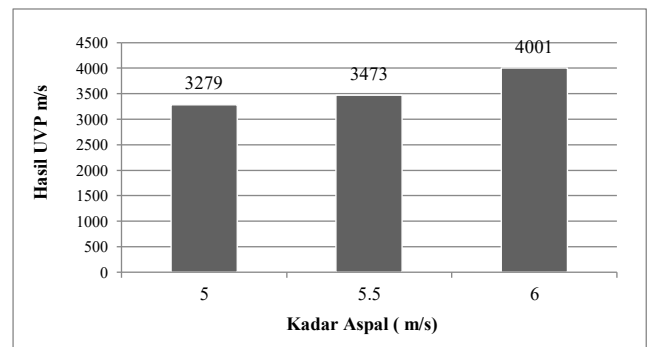
Tabel 13. Pengujian UPV (setelah di rendam)

Benda Uji	Time	Velocity (m/s)	Rata -rata
1	16,2	4012	3956
	16,2	4012	
	16,9	3846	
2	16,3	3988	4039
	16,3	3988	
	15,7	4140	
3	17,9	3631	3638
	17,9	3631	
	17,8	3652	

Berdasarkan Tabel 12 dan Tabel 13 pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) sebelum direndam nilai kecepatan rambat gelombang rata-rata adalah 4001 m/s, setelah direndam nilai kecepatan rambat gelombang rata-rata adalah 4039 m/s.

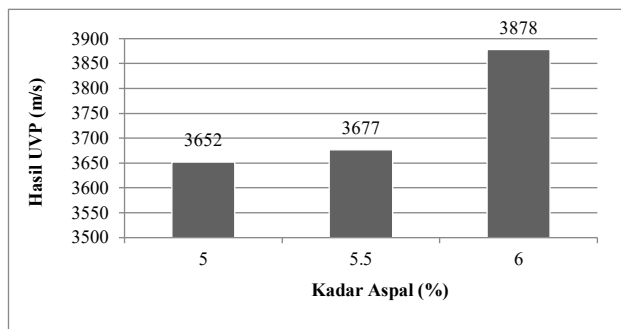
3.6. Perbandingan antara *Ultrasonic Pulse Velocity* (UVP) dengan Variasi Kadar Aspal 5%, 5,5%, 6%

Untuk mengetahui perbandingan besarnya nilai cepat rambat dari masing-masing varian. Berikut disajikan grafik perbandingan nilai rerata kecepatan rambat gelombang UPV dengan variasi kadar aspal pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan rerata UPV dan variasi kadar aspal (sebelum di rendam)

Berdasarkan Gambar 4, hasil pengujian dan analisa terhadap UPV diperoleh cepat rambat gelombang rerata variasi kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% berturut-turut sebesar 3279 m/s; 3473 m/s; 4001 m/s. Nilai kecepatan rambat gelombang tertinggi pada kadar aspal 6%



Gambar 5. Perbandingan rerata UPV dan variasi kadar aspal (setelah di rendam)

Berdasarkan Gambar 5, hasil pengujian dan analisa terhadap UPV diperoleh cepat rambat gelombang rerata variasi kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% berturut-turut sebesar 3279 m/s; 3473 m/s; 4001 m/s. Nilai kecepatan rambat gelombang tertinggi pada kadar aspal 6%.

4. Kesimpulan

Hasil Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan limbah bata tahan api sebagai agregat *filler* memenuhi persyaratan SNI 03 – 1750 -1990 dan SNI 03-1968-1990 sehingga dapat digunakan pada perkerasan jalan. Berdasarkan hasil penelitian sebelum direndam diperoleh cepat rambat gelombang rerata variasi kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% berturut-turut sebesar 3279 m/s; 3473 m/s; 4001 m/s. Sedangkan setelah direndam diperoleh cepat rambat gelombang rerata variasi kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% berturut-turut sebesar 3652 m/s; 3667 m/s; 3878 m/s. Sehingga Nilai kecepatan rambat gelombang tertinggi sebelum dan sesudah direndam diperoleh pada kadar aspal 6%.

Daftar Pustaka

- [1] S.N. Kushariyanto, C.R. Nainggolan, and S. Nurlina, “Pengaruh Variasi Mutu Beton pada Benda Uji Balok Beton Normal dengan Menggunakan Metode Non Destructive Test”, *Rekayasa Sipil*, vol. 13, no. 3, p. 225, 2019.
- [2] S.P. Budio, “Koreksi Pembacaan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Terhadap Kesalahan Akibat Ketidakstabilan Posisi”, *Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 1, p. 21, 2016.
- [3] D. Bakarbesy and Y.Y. Pattireuw, “Pemanfaatan Abu Bata Merah Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran Aspal Beton (Laston)”, *Jurnal Portal Sipil*, vol. 8, no. 1, p. 72, 2019.
- [4] R. Yuwono, Y.C.S Purnomo, and L.D. Krisnawati, “Study Analisa Volume Kendaraan Pada Simpang Bersinyal di Perempatan Alun Alun Kota Kediri”, *Jurmateks*, vol. 1, no. 1, p. 101, 2018.
- [5] E. Nurfadzilah, S. Winarto, and Y. Cahyo, “Analisa Jalan Ring Road Ngawi Sta. 3+200 – Sta. 6+200 Kabupaten Ngawi Propinsi Jawa Timur”, *Jurmateks*, vol. 1, no. 1, pp. 33–43, 2018.
- [6] Direktorat Bina Marga, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1997.
- [7] Direktorat Bina Marga, *Petunjuk Perencanaan Komponen Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Jalan*, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1970.
- [8] A.N. Dewanto, R.D. Asrifah, A.B. Irawan, W.A.D Kristanto, and I.W. Widiarti, “Analisis Kualitas Air Hasil Pelindian Slag Nikel PT Vale Indonesia Tbk, Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan”, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Satu Bumi*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2024.
- [9] W.B. Samuel, *Perilaku Mekanik dan Kecepatan Gelombang Ultrasonik Pada Paving Blok Berbahan Hasil Sampingan Pembangkit Listrik Tenaga Uap*, Makassar: Universitas Hasanuddin, 2022.
- [10] E.A.T. Palembang, *Studi Eksperimental Perilaku Mekanik Paving Block Berbahan Off-Spek Abu Endapan dan Abu Tebang*, Makassar: Universitas Hasanuddin,, 2023.
- [11] S. Asfiati, M. Yani, and S. Prafanti, “Analysis of Mixed Stiffness Modulus of Different Asphalt Levels for AC–BC Pavement Layer with Pertamina 60/70 Asphalt and 60/70 Esso Asphalt Material”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2193, p. 1, 2022.
- [12] R.M. Harahap, D. Tanjung, M.H.M. Hasibuan, and M. Lubis, “Analisis Deteksi Kedalaman Retak Pada Beton Menggunakan Metode UPV Testing: Studi Penelitian”, *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, vol. 2, no. 2, p.112, 2024.
- [13] A. Ginting, “Pengaruh Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar Terhadap Workability dan Kuat Tekan Beton”, *Jurnal Teknik*, vol. 4, no. 1, p.1, 2014.
- [14] S. Anam, “Pengujian Perkerasan Aspal Porus Dengan Penambahan Tread Ban Bekas Pada Uji Marshall”, *UKaRsT*, vol. 2, no. 2, p. 59, 2018.
- [15] V. Sampebulu and P. Mushar, “Kuat Tekan Beton antara Metode Destructive Test dan Non-Destructive Test pada Beton Ringan Berbahan Fly Ash atau Slag”, *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, vol. 7, no. 2, p. 90, 2018.