



Analisis Campuran Agregat AC-BC dengan Substitusi Limbah *Polyethylene Terephthalate* dengan *Filler Semen*

Audito Bintang Mahesa¹✉, Nurani Hartatik¹, Laily Endah Fatmawati¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Jawa Timur

DOI: 10.31004/jutin.v8i3.46045

✉ Corresponding author:

[auditobintang@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Gradasi Agregat;
Limbah PET;
Campuran Aspal;
Proporsi Campuran;
AC-BC

Indonesia menghasilkan 4,14 juta ton sampah plastik pada 2021 dan menjadi penyumbang terbesar kedua di dunia. Salah satu jenis plastik, yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), sangat sulit terurai dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemanfaatan limbah PET dalam campuran aspal beton lapis antara (AC-BC) untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan sekaligus mengurangi sampah plastik. Metode yang digunakan adalah analisis gradasi campuran agregat, aspal, dan limbah PET berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Limbah PET dipilih karena ketersediaannya yang tinggi dan karakteristiknya yang tahan lama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat komposisi campuran yang ideal antara agregat, aspal, dan PET yang memenuhi kriteria gradasi sesuai standar. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah PET dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran aspal yang memenuhi syarat teknis dan berkontribusi terhadap pembangunan infrastruktur berkelanjutan.

Abstract

Keywords:

Aggregate Gradation;
PET Waste;
Asphalt Mixture;
Mix Proportion;
AC-BC

*Indonesia generated 4.14 million tons of plastic waste in 2021, making it the second-largest plastic waste contributor in the world. One type of plastic, *Polyethylene Terephthalate* (PET), is particularly difficult to decompose and has negative environmental impacts. This study aims to analyze the use of PET waste in Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) mixtures to improve pavement quality while reducing plastic waste. The method used involves analyzing the gradation of aggregate, asphalt, and PET waste mixtures based on the 2018 General Specifications of Bina Marga (Revision 2). PET waste was selected due to its high availability and durability. The results indicate that there is an ideal composition of aggregate, asphalt, and PET that meets the required gradation criteria. This study shows that PET waste can be utilized as a technically feasible asphalt mixture component and contributes to sustainable infrastructure development.*

1. PENDAHULUAN

Plastik adalah limbah yang tersebar luas di dunia dan berdampak buruk bagi manusia, seperti merusak estetika, mengganggu drainase, serta menjadi sarang penyakit (Purwanto & Hikmah Perkasa, 2023). Ketika terpapar sinar ultraviolet, plastik terpecah menjadi mikroplastik yang merusak ekosistem dan rantai makanan (Gaus et al., 2022). Beberapa jenis limbah plastik meliputi *High-Density Polyethylene (HDPE)*, *Low-Density Polyethylene (LDPE)*, *Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE)*, *Nylon 6*, *Polystyrene (PS)*, *Polypropylene (PP)*, *Polyethylene Terephthalate (PET)*, dan *Polyvinyl Chloride (PVC)*. (Wahyu Utomo & Susi Arfiana, 2023). Sebagai senyawa polimer alkena, plastik seperti PET membutuhkan sekitar 450 tahun untuk terurai, sehingga sampah plastik terus menumpuk tanpa solusi yang efektif (Rafly Novendra & Muhammad, 2023).

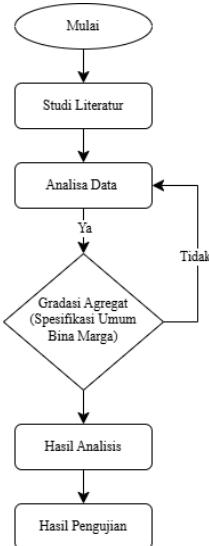
Polyethylene Terephthalate atau PET merupakan resin yang kokoh, tahan lama, ringan, dan mudah dibentuk saat dipanaskan. Material ini bersifat kaku dan memiliki karakteristik termoplastik (Anastasia Erita et al., 2019). Jadi bisa dibayangkan betapa banyaknya sampah plastik yang akan terus menumpuk setiap tahunnya jika tidak ada upaya pencegahan atau solusi untuk mengurangi volume sampah plastik tersebut.

Salah satu solusi yang menjanjikan adalah pemanfaatan limbah PET dalam material konstruksi, seperti campuran aspal. Pada penerapannya, perkerasan jalan sering mengalami gangguan atau kerusakan yang disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah mutu atau kualitas jalan yang tidak sesuai dengan klasifikasinya, sehingga menurunkan kinerja perkerasan dan memperpendek umur jalan (Gunawan Perdana et al., 2023). Untuk mencegah kerusakan pada permukaan perkerasan, salah satu solusi yang digunakan adalah perkerasan lentur, yaitu jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan terdiri dari beberapa lapisan yang dirancang untuk menahan beban serta mengikuti deformasi permukaan jalan (Rahmawati et al., 2023).

Dalam penelitian ini, digunakan perkerasan jenis *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* sebagai lapisan yang berfungsi sebagai lapisan perantara dalam struktur perkerasan jalan. Lapisan AC-BC mampu menahan beban maksimum yang dihasilkan oleh lalu lintas (Agam Akapulesta et al., 2021). Lapisan ini tidak langsung terkena pengaruh cuaca, namun tetap harus memiliki ketebalan dan kekakuan yang memadai untuk mengurangi tegangan akibat beban lalu lintas (Putri & Kaspari, 2023). Dalam perancangannya, digunakan agregat gabungan yang diperoleh melalui pencampuran fraksi agregat kasar, agregat halus, dan semen secara proporsional. Proporsi masing-masing fraksi dirancang sedemikian rupa agar menghasilkan gradasi agregat gabungan yang sesuai dengan spesifikasi teknis yang diharapkan (Frederiko et al., 2024).

2. METODE

Diagram alir disusun untuk menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis. Prosedur ini mencakup identifikasi masalah, studi literatur, analisis data, serta penarikan kesimpulan. Penelitian ini berfokus pada evaluasi persentase campuran agregat, aspal, dan *filler* pada AC-BC dengan menggunakan substitusi PET.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Berdasarkan bagan alir (*flowchart*) yang terdapat pada gambar, berikut adalah penjelasan setiap tahap dalam proses yang ditampilkan

1. Mulai

Tahap ini merupakan titik awal dimulainya keseluruhan proses penelitian.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan penelusuran serta pengumpulan referensi dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel ilmiah, dan dokumen teknis lainnya. Tujuan dari studi literatur adalah untuk memperoleh landasan teoritis serta acuan teknis yang relevan dengan topik penelitian, khususnya mengenai agregat dan spesifikasi teknis pembangunan jalan menurut ketentuan dari Direktorat Jenderal Bina Marga.

3. Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian agregat kemudian dianalisis. Proses ini mencakup pengolahan data karakteristik agregat yang akan digunakan. Apabila data tersebut belum memenuhi kriteria yang ditetapkan atau dirasa belum mencukupi, maka dilakukan evaluasi ulang atau penambahan data hingga data yang diperoleh memenuhi kebutuhan analisis.

4. Gradasi Agregat (Spesifikasi Umum Bina Marga)

Tahapan ini meliputi evaluasi terhadap data gradasi agregat berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga. Dokumen spesifikasi tersebut memuat standar teknis yang harus dipenuhi dalam pelaksanaan konstruksi jalan, termasuk ukuran serta distribusi partikel agregat.

- Jika sesuai: proses dilanjutkan ke tahap berikutnya.

- Jika tidak sesuai: proses dikembalikan ke tahap analisis data untuk dilakukan penyesuaian

5. Hasil Analisis

Setelah agregat dinyatakan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, dilakukan penyusunan hasil analisis akhir dari data yang telah diolah dan dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku.

6. Hasil Pengujian

Tahap akhir ini menyajikan hasil pengujian terhadap agregat yang digunakan. Hasil tersebut menunjukkan kelayakan material untuk digunakan dalam konstruksi jalan sesuai dengan standar teknis yang ditetapkan oleh Bina Marga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Campuran Agregat

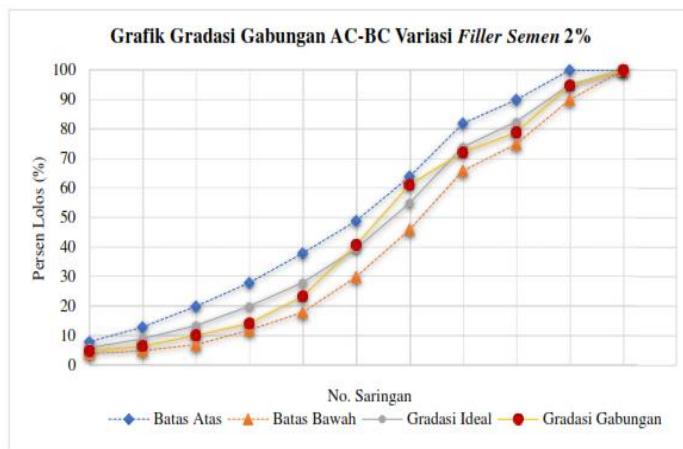
Setelah dilakukan pengujian terhadap gradasi agregat, tahap berikutnya adalah pencampuran agregat atau *blending aggregate*. Proses perencanaan pencampuran ini penting untuk memastikan bahwa gradasi campuran dari setiap fraksi agregat (kasar, halus, dan *filler*) memenuhi ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Dalam penelitian ini, penentuan proporsi masing-masing fraksi dilakukan menggunakan metode *trial and error*, yaitu dengan melakukan beberapa percobaan kombinasi persentase fraksi agregat hingga diperoleh gradasi campuran yang berada dalam batas yang diisyaratkan.

Table 1. Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan *Filler* Semen 2%

No.	SIEVE NO Mm	Gradasi Agregat					Kombinasi Agregat	% Lolos Spesifikasi		
		a	b	c	d	e		100	-	100
1"	25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100	-	100
3/4 "	19	100,00	100,00	100,00	59,60	100,00	94,75	90	-	100
1/2 "	12,5	100,00	100,00	49,61	3,75	100,00	78,92	75	-	90
3/8 "	9,5	100,00	99,48	12,63	0,45	100,00	72,12	66	-	82
# 4	4,75	100,00	43,07	1,23	0,17	100,00	61,12	46	-	64
# 8	2,36	72,79	5,15	0,57	0,15	100,00	40,79	30	-	49
# 16	1,18	39,76	3,58	0,46	0,13	100,00	23,34	18	-	38
# 30	0,6	22,36	3,01	0,37	0,11	100,00	14,19	12	-	28
# 50	0,3	14,73	2,65	0,34	0,09	100,00	10,15	7	-	20

SIEVE NO		Gradasi Agregat					Kombinasi Agregat	% Lelos Spesifikasi		
No.	Mm	a	b	c	d	e				
# 100	0,15	8,12	1,34	0,31	0,09	100,00	6,50	5	-	13
# 200	0,075	5,64	0,59	0,23	0,09	91,20	4,90	4	-	8
										-
Perbandingan Campuran Dari Persentase Berat Total Agregat	a. Fraksi 0-5 mm						52,00	%		
	b. Fraksi 5-10 mm						16,00	%		
	c. Fraksi 10-15 mm						17,00	%		
	d. Fraksi 10-20 mm						13,00	%		
	e. Semen						2,00	%		
	Total						100,00	%		

Tabel 1. Hasil analisis kombinasi gradasi agregat gabungan dengan penambahan *filler* semen 2% menunjukkan bahwa persentasenya telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yaitu berada dalam batas toleransi persen lolos yang ditetapkan. Ada, pun perbandingan campuran berdasarkan persentase terhadap berat total agregat adalah sebagai berikut: fraksi 0-5 mm sebesar 52%, fraksi 5-10 mm sebesar 16%, fraksi 10-15 mm sebesar 17%, fraksi 10-20 mm sebesar 13%, dan semen sebesar 2%, sehingga total keseluruhan campuran adalah 100%.



Gambar 2. Grafik Gradasi Gabungan AC-BC dengan *Filler* Semen 2%

Gambar1 Grafik Gradasi Gabungan AC-BC Variasi *Filler* Semen 2% menunjukkan bahwa kurva gradasi campuran agregat berada di antara batas atas dan batas bawah yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Hal ini mengindikasikan bahwa komposisi agregat gabungan dengan penambahan filler semen sebesar 2% telah memenuhi kriteria gradasi yang disyaratkan.

Kurva gradasi gabungan (berwarna merah) mengikuti pola yang relatif mendekati gradasi ideal (berwarna abu-abu), dan seluruh titik pada kurva tersebut tidak melewati batas spesifikasi, baik di sisi atas maupun bawah. Hal ini mencerminkan distribusi ukuran partikel agregat yang seimbang dan sesuai standar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa campuran agregat gabungan ini memiliki kualitas gradasi yang baik untuk digunakan dalam pekerjaan lapis aspal beton kelas menengah (AC-BC).

b. Kadar Aspal Rencana

Table 2. Kadar Aspal Rencana

CA	FA	FF	Konstanta	Nilai Konstanta
0,035 %	0,045 35,89	0,18 4,90	0,5 - 1	0,9
PB 5,47	Nilai PB Dibulatkan 5,5			

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dalam perencanaan dilakukan menggunakan rumus empiris yang didasarkan pada persentase masing-masing fraksi agregat. Dalam penelitian ini, campuran beraspal panas dirancang menggunakan lima variasi kadar aspal, yaitu dua nilai di bawah dan dua nilai di atas kadar aspal rencana (Pb), dengan selisih 0,5% untuk setiap variasinya. Nilai kadar aspal optimum rencana untuk *filler* berupa semen dan campuran aspal berupa PET. Perhitungan nilai kadar aspal optimum dengan *filler* semen sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \\
 &= 0,035 (100 - 41,77) + 0,045 (41,77 - 4,14) + 0,18 (58,23 - 37,64) + 0,9 \\
 &= 5,38\% \text{ dibulatkan menjadi } 5,5\%
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan kadar aspal optimum rencana sebesar 5,5%, maka kadar aspal yang digunakan untuk percampuran aspal panas menggunakan dua kadar aspal dibawah Pb dan dua kadar aspal diatas Pb dengan interval 0,5. Dengan begitu kadar aspal rencana dengan menggunakan interval 0,5% yang akan digunakan yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

c. Campuran Agregat dan Aspal

Campuran agregat dan aspal merupakan gabungan antara agregat dan aspal atau campuran aspal panas (*hot mix*). Campuran ini dipanaskan dan dicampur dalam suhu tertentu, kemudian dihampar dan dipadatkan di lapangan untuk membentuk lapisan perkerasan jalan yang kuat, fleksibel, dan tahan lama. Dalam penelitian ini, campuran agregat dan aspal menggunakan bahan substitusi berupa PET dengan variasi kadar sebesar 4%, 5%, dan 6% dari berat aspal.

RENCANA BRIKET AC BC FILLER 2%

Berat Tiap Briket (gram)	1200	1200	1200	1200	1200
% Aspal	4,5	5	5,5	6	6,5
Berat Aspal (gram)	54	60	66	72	78
% Agregat	95,5	95	94,5	94	93,5
Berat Agregat (gram)	1146	1140	1134	1128	1122
Fraksi Agregat	%	I (gram)	II (gram)	III (gram)	IV (gram)
Agregat 0-5 mm	52	596	593	590	587
Agregat 5-10 mm	16	183	182	181	180
Agregat 10-15 mm	17	195	194	193	192
Agregat 10-20 mm	13	149	148	147	146
Filler Semen	2	23	23	23	22

RENCANA BRIKET AC BC FILLER SEMEN 2% + PET 4%

Berat Tiap Briket (gram)	1200	1200	1200	1200	1200
% Aspal	4,5	5	5,5	6	6,5
Berat Aspal (gram)	54	60	66	72	78
Berat PET (gram)	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1
Berat Aspal – PET (gram)	51,8	57,6	63,4	69,1	74,9
% Agregat	95,5	95	94,5	94	93,5
Berat Agregat (gram)	1146	1140	1134	1128	1122
Fraksi Agregat	%	I (gram)	II (gram)	III (gram)	IV (gram)
Agregat 0-5 mm	52	596	593	590	587
Agregat 5-10 mm	16	183	182	181	180
Agregat 10-15 mm	17	195	194	193	192
Agregat 10-20 mm	13	149	148	147	146

Filler Semen	2	23	23	23	23	22
RENCANA BRIKET AC BC FILLER SEMEN 2% + PET 5%						
Berat Tiap Briket (gram)	1200	1200	1200	1200	1200	1200
% Aspal	4,5	5	5,5	6	6,5	
Berat Aspal (gram)	54	60	66	72	78	
Berat PET (gram)	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	
Berat Aspal – PET (gram)	51	57	63	68	74	
% Agregat	95,5	95	94,5	94	93,5	
Berat Agregat (gram)	1146	1140	1134	1128	1122	
Fraksi Agregat	%	I (gram)	II (gram)	III (gram)	IV (gram)	V (gram)
Agregat 0-5 mm	52	596	593	590	587	583
Agregat 5-10 mm	16	183	182	181	180	180
Agregat 10-15 mm	17	195	194	193	192	191
Agregat 10-20 mm	13	149	148	147	147	146
Filler Semen	2	23	23	23	23	22
RENCANA BRIKET AC BC FILLER SEMEN 2% + PET 6%						
Berat Tiap Briket (gram)	1200	1200	1200	1200	1200	1200
% Aspal	4,5	5	5,5	6	6,5	
Berat Aspal (gram)	54	60	66	72	78	
Berat PET (gram)	3,2	3,6	4,0	4,3	4,7	
Berat Aspal – PET (gram)	51	56	62	68	73	
% Agregat	95,5	95	94,5	94	93,5	
Berat Agregat (gram)	1146	1140	1134	1128	1122	
Fraksi Agregat	%	I (gram)	II (gram)	III (gram)	IV (gram)	V (gram)
Agregat 0-5 mm	52	596	593	590	587	583
Agregat 5-10 mm	16	183	182	181	180	180
Agregat 10-15 mm	17	195	194	193	192	191
Agregat 10-20 mm	13	149	148	147	147	146
Filler Semen	2	23	23	23	23	22

Berdasarkan hasil perencanaan campuran briket AC-BC dengan penambahan filler semen sebesar 2% dan limbah plastik PET sebesar 4-6%, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5% berpengaruh terhadap proporsi material lainnya dalam campuran. Semakin tinggi kadar aspal yang digunakan, maka semakin besar pula massa aspal dan PET yang ditambahkan, sementara massa agregat mengalami penurunan agar berat total briket tetap konstan pada 1200 gram. Komposisi filler semen dipertahankan konstan pada kisaran 22-23 gram. Distribusi fraksi agregat yang digunakan tetap seragam pada semua variasi campuran, dengan gradasi yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga. Rancangan campuran ini disusun sebagai dasar untuk evaluasi lebih lanjut terhadap karakteristik mekanis campuran, seperti stabilitas, kelelahan, dan ketahanan terhadap deformasi permanen, guna menentukan kadar aspal optimum yang memenuhi persyaratan teknis dan kelayakan penggunaan dalam konstruksi perkerasan jalan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan dan pengujian terhadap campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) dengan penambahan *filler* semen sebesar 2% serta substitusi aspal menggunakan limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 4%, 5%, dan 6% dari berat aspal, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Komposisi gradasi agregat gabungan dengan penambahan *filler* semen 2% berada dalam batas toleransi spesifikasi yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Hal ini menunjukkan

- bahwa campuran telah memenuhi syarat gradasi yang baik untuk digunakan sebagai lapisan perkerasan jalan.
2. Penambahan PET sebagai substitusi aspal memberikan pengaruh terhadap kebutuhan berat aspal dalam campuran. Semakin tinggi persentase PET yang digunakan, semakin kecil kebutuhan berat aspal murni. Hal ini menunjukkan bahwa limbah PET dapat menggantikan sebagian aspal dalam campuran AC-BC tanpa mengganggu keseimbangan komposisi material.
 3. Berat total campuran dijaga tetap sebesar 1.200 gram, dengan distribusi agregat yang konstan, yaitu fraksi 0–5 mm sebesar 52%, fraksi 5–10 mm sebesar 16%, fraksi 10–15 mm sebesar 17%, fraksi 10–20 mm sebesar 13%, dan filler semen sebesar 2%.
 4. Substitusi PET sebesar 4%, 5%, dan 6% dari berat aspal memberikan variasi terhadap kadar aspal yang digunakan, dengan kisaran kadar aspal aktual yang lebih rendah dibandingkan campuran tanpa PET. Hal ini menunjukkan potensi penghematan penggunaan aspal murni melalui pemanfaatan limbah plastik.
 5. Secara umum, pemanfaatan PET sebagai bahan substitusi aspal menunjukkan potensi positif dalam aspek teknis maupun lingkungan. Namun, untuk memastikan kinerja struktural dan fungsional campuran, diperlukan pengujian lanjutan seperti uji Marshall, uji ketahanan terhadap deformasi, dan uji kelelahan.

Dengan demikian, penggunaan filler semen 2% dan substitusi PET dalam campuran AC-BC dapat menjadi alternatif yang layak untuk meningkatkan keberlanjutan dalam pembangunan jalan, selama tetap memenuhi kriteria teknis yang disyaratkan.

5. REFERENSI

- Agam Akapulesta, E., Hartatik, N., Rizkiardi, A., & D. Prasetyo, Y. (2021). PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON PADA CAMPURAN AC-BC. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/sondir>, 6.
- Anastasia Erita, C., Negeri Bengkalis, P., Bathin Alam Sei Alam KabBengkalis ProvRiau, J., Kunci, K., Pet, P., & Pori, A. (2019). PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) TERHADAP NILAI MARSHALL ASPAL PORI. In *JULI* (Vol. 1, Issue 1).
- Frederiko, M., H. Frans, J., & H. Simatupang, P. (2024). PERBANDINGAN NILAI MARSHALL DAN BIAYA PADA VARIASI GARIS GRADASI ATAS, TENGAH, DAN BAWAH PADA CAMPURAN AC-BINDER COURSE GRADASI AGREGAT GABUNGAN. <https://doi.org/https://doi.org/10.62603/konteks.v2i6.269>
- Gaus, A., Hakim, R., & Seniyasmin, S. (2022). Pengaruh Penggunaan Limbah Polyethylene Terephthalate Terhadap Campuran Aspal Concrete Binder Course. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 131. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i1.683>
- Gunawan Perdana, M., Abdurrahman, & Nur Wahyuni, A. (2023). PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA CAMPURAN ASPAL Lapis AUS AC-WC (ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE). *JURNAL KACAPURI: JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL*, 6(1), 232–246. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i2.13034>
- Purwanto, S., & Hikmah Perkasa, D. (2023). Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Biji Plastik Yang Bernilai Tambah Ekonomi Di Kelurahan Dadap Tangerang. *Dedikasi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 171–181. <https://doi.org/10.53276/dedikasi.v2i1.42>
- Putri, E. E., & Kaspari, A. (2023). Penggunaan Aspal Karet Pada Campuran Perkerasan Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, 1(1), 32–43. <https://doi.org/10.25077/jbkd.1.1.32-43.2023>
- Rafly Novendra, & Muhammad. (2023). PENGARUH LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH PENGIKAT ASPAL TERHADAP KEKUATAN CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC). *Digital Repository UNILA*. <https://digilib.unila.ac.id/77597/>
- Rahmawati, M., Hartatik, N., Rizkiardi, A., Prasetyo, Y. D., & Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur Bali, B. (2023). PEMANFAATAN LIMBAH BATU KAPUR BUKIT SEKAPUK GRESIK SEBAGAI FILLER CAMPURAN AC-BC. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, 3(1), 2023–2024. <https://doi.org/10.46306/tgc.v2i2>
- Wahyu Utomo, L., & Susi Arfiana, dan. (2023). Pemanfaatan Limbah Plastik Daur Ulang dari Polietilen Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambahan dalam Pembuatan Nanokomposit, Semen Mortar, dan Aspal. In *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.26418/jtllb.v11i1.60812>