

PENGGUNAAN *FILLER* SERBUK CANGKANG KERANG SIMPING (*Placuna placenta*) PADA CAMPURAN ASPAL AC-BC

Ilham Prabowo Asita¹, Latif Budi Suparma¹ dan Suprpto Siswosukarto¹

¹Program Studi Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Universitas Gadjah Mada,

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta

Email: lbsuparma@ugm.ac.id

ABSTRAK: *Filler* umumnya digunakan dalam campuran aspal panas (*hotmix*) dapat berupa semen, kapur, debu batu dan *fly ash*. Cangkang kerang memiliki kandungan kimiawi yang menyerupai dengan kandungan kimia semen berupa kalsium, alumina, kapur tohor dan senyawa silika, serta pemanfaatannya sendiri masih kurang dalam bidang konstruksi. Penelitian ini bertujuan meneliti potensi penggunaan serbuk cangkang kerang simping (*Placuna placenta*) sebagai alternatif pengganti *filler* pada campuran perkerasan *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC). Penelitian yang dilaksanakan menggunakan metode uji karakteristik Marshall dan uji ITS (*Indirect Tensile Strength*) yang dilaksanakan dengan membuat benda uji, dan variasi cangkang kerang yang digunakan sebagai *filler* sebesar 0% dan 100%. Hasil pengujian Marshall dan ITS didapatkan nilai RMS (*Retained Marshall Stability*) dan TSR (*Tensile Strength Ratio*) sebesar 92,4% dan 88,7% dengan menggunakan cangkang kerang sebagai *filler* dan telah memenuhi syarat minimum RMS dan TSR yaitu 90% dan 80%. Sedangkan tanpa menggunakan cangkang kerang didapatkan nilai RMS dan TSR sebesar 91,9% dan 82,9%. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan cangkang kerang memberikan kekuatan campuran beraspal yang lebih baik dan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif penggunaan *filler* dalam campuran AC-BC.

Kata kunci: serbuk cangkang kerang, metode Marshall, ITS, AC-BC

THE USE OF WINDOWPANE OYSTER (Placuna placenta) SHELL POWDER IN AC-BC ASPHALT MIXTURE

ABSTRACT: *Fillers* commonly used in hot mix asphalt mixtures can be made of cement, limestone, stone dust, and fly ash. Shells of *Placuna placenta* have a chemical composition similar to that of cement, including calcite, alumina, calcium, and silica compounds. However, their use in construction is currently limited. This study investigate the potential of using *Placuna placenta* shells as an alternative filler in *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) mixtures. The study was conducted using the Marshall test and Indirect Tensile Strength (ITS) test, with test specimens prepared using shell filler at 0% and 100%. The results showed that using of shells as filler resulted in a Retained Marshall Stability (RMS) and Tensile Strength Ratio (TSR) of 92.4% and 88.7%, respectively, which meet the minimum requirement of 90% and 80%. In contrast, without using shells, the RMS and TSR were 91.9% and 82.9%. The results show that using shell powder as filler improves the strength of the asphalt mixture and may be used as an alternative filler in AC-BC mixtures.

Keywords: Shell powder, Marshall method, ITS, AC-BC

PENDAHULUAN

Direktorat Jendral Bina Marga PUPR (2020) menjelaskan dengan adanya infrastruktur jalan raya diharapkan dapat mendukung pengembangan ekonomi dan mengembangkan SDM (sumber daya manusia) yang unggul. Pada era sekarang, semakin meningkatnya kebutuhan konstruksi jalan yang berkualitas tinggi dan efisien menyebabkan sulit untuk menemukan material yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan untuk perencanaan jalan. Hal tersebut dikarenakan bahan baku mentah yang tersedia di pasaran seperti debu batu sebagai *filler* hanya terdapat di pemecahan batu (*stone crusher*) dan dalam kapasitas terbatas. *Filler* yang umum digunakan kedalam perkerasan *hotmix* berupa semen, kapur, debu batu, dan *fly ash*.

Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 rev. 2 (2020) mensyaratkan bahwa bahan pengisi (*filler*) haruslah tidak basah/lembab (kering) serta bebas dari gumpalan, dan lolos ayakan No.200. Berdasarkan kondisi tersebut, tidak tertutup kemungkinan lain adanya penggunaan bahan pengisi alternatif yang masih layak memenuhi acuan yang telah ditetapkan. Cangkang kerang (CK) mengandung senyawa yang hampir sama dengan semen, yaitu kapur tohor, alumina, dan senyawa silika (Esentia, 2014). Cangkang kerang (CK) dalam bentuk serbuk mengandung unsur kimia berupa kalsium (Ca) yang sangat tinggi selain senyawa silika dan alumina. Jumlah kalsium dalam cangkang kerang (CK) lebih tinggi dibandingkan dengan semen pada umumnya, yaitu sebesar 81,55% (Ghozali, 2018). Neiri et al., (2018) menjelaskan bahwa serbuk cangkang kerang jenis tiram (*oyster*) memberikan kekakuan serta meningkatkan kandungan resin pada aspal dalam campuran *hotmix*, selain meningkatkan kualitas jalan, cangkang kerang memiliki nilai tambah untuk mengurangi biaya konstruksi dan mengatasi permasalahan limbah pada lingkungan. Penelitian Arabani et al., (2014) dan Ruiz et al., (2020) memberikan hasil dengan menggunakan cangkang kerang

sebagai substitusi *filler* maupun substitusi agregat halus membuat campuran *hotmix* memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap umur *fatigue* (kelelahan), meningkatkan kerentanan terhadap kelembaban (*moisture susceptibility*), serta meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen.

Hasil data BKIPM (Badan Karantina Ikan, Pengendalian Mutu dan Keamanan Hasil Perikanan) tahun 2021 menunjukkan untuk wilayah Yogyakarta mengekspor 2.974 kg cangkang kerang sebagai barang kerajinan. Hanya beberapa jenis cangkang kerang yang digunakan untuk membuat kerajinan tangan, sisanya dimanfaatkan sebagai campuran pakan ternak dan beberapa diantaranya sebagai bahan baku kecantikan. Penggunaan cangkang kerang diharapkan mampu mengurangi efek negatif bagi kesehatan lingkungan maupun manusia itu sendiri, serta memberikan kontribusi di dunia konstruksi (Iskandar, 2020).

Berdasarkan pernyataan-pernyataan tersebut, penelitian ini dicoba menggunakan cangkang kerang jenis simping atau dikenal juga dengan nama lain *windowpane oyster* (*Placuna placenta*) sebagai pengganti *filler*. Penelitian yang dilakukan dengan tujuan guna memperoleh potensi penggunaan serbuk CK simping (*Placuna placenta*) sebagai alternatif pengganti *filler* pada campuran AC-BC.

METODE

Penelitian dilaksanakan dengan melakukan pengujian eksperimental dengan pembuatan badan uji yang dilakukan di Laboratorium Transportasi UGM, Yogyakarta. Penelitian ini meliputi: uji karakteristik material atau uji pendahuluan (agregat kasar, halus, *filler* debu batu, aspal Pen 60/70, *filler* serbuk CK) dan pengujian campuran berupa uji karakteristik Marshall dan uji ITS (*Indirect Tensile Strength*).

Material

Penelitian yang dilaksanakan dengan menggunakan material yang tersusun dari berbagai material: agregat kasar dan halus, debu batu yang bersumber dari *quarry* hasil

pemecahan batu di Clereng, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Bahan ikat berupa aspal Pen. 60/70 produksi Shell berasal dari PT. Buntara Megah Inti, Tangerang. Sedangkan untuk serbuk cangkang kerang (CK) simping (*Placuna placenta*) berasal dari Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Seluruh karakteristik material harus memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga rev. 2 (Ditjen Bina Marga, 2020).

Komposisi Campuran AC

Campuran perkerasan beraspal yaitu berupa campuran yang terdiri berbagai kombinasi agregat yang diolah dan dicampurkan secara merata, serta dilapisi dengan aspal sebagai bahan pengikat. Stabilitas yang terdapat pada campuran beraspal dapat dikembangkan dengan syarat agregat yang digunakan memiliki kualitas yang tinggi dan memvariasikan gradasi agregat untuk mendapatkan sifat saling mengunci antar agregat (Asphalt Institute., 2014). Campuran beraspal perlu mempertimbangkan beberapa syarat dalam mencapai kemantapan suatu campuran beton aspal (AC) diantaranya: stabilitas, ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*), ketahanan kelembaban (*impermeabilitas*), keawetan (*durability*), kekesatan (*skid resistance*), kelenturan (*fleksibilitas*), serta kemudahan dalam perkerjaan (*workability*) (Asphalt Institute., 2014).

Pembuatan Sampel

Penelitian dilaksanakan dengan membuat sampel atau benda uji dengan variasi kadar aspal 5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% untuk memperoleh KAO (kadar aspal optimum) pada setiap variasi cangkang kerang (CK), dan penggunaan CK sebagai pengganti *filler* dengan variasi 0% dan 100%.

Pengujian Karakteristik Campuran

Pengujian karakteristik campuran dilakukan setelah mendapatkan KAO dari hasil perancangan untuk masing-masing variasi, dan dilanjutkan dengan pengujian Marshall dan uji ITS. Uji Marshall mengikuti acuan dari AASHTO T-245-90 dan ASTM D 1559-76, uji tersebut dilakukan untuk mendapatkan durabilitas atau nilai RMS (*Retained Marshall Stability*) yang

merupakan perbandingan hasil uji Marshall perendaman 24 jam dengan perendaman standar (30 menit), secara umum nilai $RMS \geq 90\%$. Secara umum dilakukannya pengujian Marshall dilakukan untuk menentukan kekuatan campuran beraspal berupa stabilitas terhadap ketahanan pelelehan plastisnya (*flow*), serta menganalisis kepadatan dan rongga dalam campuran beraspal yang terbentuk (Pangemanan et al., 2015). Pada uji ITS dilakukan untuk mendapatkan nilai TSR (*Tensile Strength Ratio*) yang didapatkan dari hasil bagi antara ITS *conditioned* dengan *unconditioned*. Disyaratkan nilai $TSR \geq 80\%$ dan mengikuti acuan dari SNI 6753:2008 dan AASHTO T-283. Secara umum pengujian ITS dilakukan untuk mengetahui potensi atau indikasi terjadinya retakan di lapangan akibat repitisi beban kendaraan serta akibat pengaruh air (Tajudin dan Suparma, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan KAO dengan Uji Karakteristik Marshall

Rancangan campuran perkerasan dilakukan dengan metode perancangan Marshall. Selanjutnya, perlu adanya pemeriksaan terhadap bahan penyusun campuran secara teliti. Hal tersebut dilakukan guna memperoleh sifat dari material tersebut yang mana sebagai indikator penentu dalam menopang beban kendaraan (lalu lintas) dan serta ketahanannya.

Tahapan pembuatan sampel uji sesuai dengan cara menggabungkan seluruh agregat dan *filler* berserta aspal panas sesuai dengan *Job Mix Formula*, untuk kemudian dilakukan pemadatan sesuai dengan persyaratan. Selanjutnya dilakukan uji Marshall untuk memperoleh karakteristik Marshall berupa *volumetric characteristics* (kepadatan, VMA, VIM, dan VFA) disajikan dalam Tabel 1 dan *mechanical characteristic* (Stabilitas, MF, dan *Marshall Quotient*) yang disajikan dalam Tabel 2. Kedua karakteristik tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan KAO yang dianalisis dengan metode *narrow range*. Nilai KAO untuk setiap variasi disajikan dalam Gambar 1, dan Tabel 3.

Tabel 1. Karakteristik *volumetric* Marshall dalam penentuan KAO

Kadar Aspal	Density (gr/cm ³)		VMA (%)		VIM (%)		VFA (%)	
	Variasi CK							
	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
4,5	2,36	2,33	16,17	17,06	5,42	7,56	66,52	55,68
5	2,37	2,37	16,07	16,06	4,11	5,24	74,42	67,35
5,5	2,39	2,39	15,98	16,03	2,80	4,00	82,54	75,02
6	2,40	2,40	16,11	15,92	1,73	2,66	89,29	83,32
6,5	2,41	2,41	16,11	16,16	0,50	1,70	96,93	89,50

Sesuai dengan Tabel 1, dapat disimpulkan dalam berikut ini:

- 1) *Density* (kepadatan), pada hasil terlihat penggunaan cangkang kerang (CK) relatif menghasilkan kepadatan yang serupa, hal ini membuktikan bahwa CK mampu mengisi rongga dalam campuran.
- 2) *VMA (void mineral aggregate)*, dalam hasil terlihat cangkang kerang (CK) sebagai *filler* memiliki nilai VMA relatif sama dengan variasi tanpa CK.
- 3) *VIM (void in mix)*, dalam hasil uji terlihat bahwa nilai VIM dengan menggunakan cangkang kerang (CK)

menghasilkan nilai yang lebih tinggi, hal tersebut membuktikan bahwa penggunaan *filler* CK membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak untuk memenuhi persyaratan dalam VIM.

- 4) *VFA (void filled with asohalt)*, terlihat dalam hasil penelitian nilai VFA cenderung lebih rendah dengan penggunaan penuh cangkang kerang (CK). Pada variasi kadar aspal 4,5% dengan penggunaan CK belum memenuhi syarat minimal VFA sebesar 65%, sedangkan untuk variasi lainnya telah memenuhi persyaratan.

Tabel 2. Karakteristik *mechanical* Marshall dalam penentuan KAO

Kadar Aspal	Stability (kg)		MF (mm)		MQ (kg/mm)	
	Variasi CK					
	0%	100%	0%	100%	0%	100%
4,5	1187,12	1365,16	2,45	3,33	497,82	412,35
5	1277,81	1532,78	2,58	3,15	495,95	488,29
5,5	1364,23	1434,38	3,04	3,49	449,55	415,19
6	1250,52	1294,25	3,49	4,26	364,17	308,23
6,5	1183,66	1197,98	3,85	4,59	310,94	262,28

Berdasarkan Tabel 2 dengan menggunakan *filler* cangkang kerang (CK) maupun tanpa penggunaan CK dapat dijelaskan sebagai berikut:

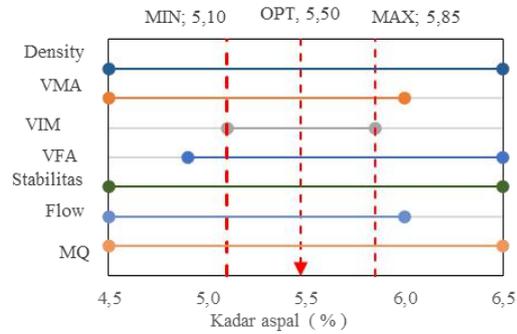
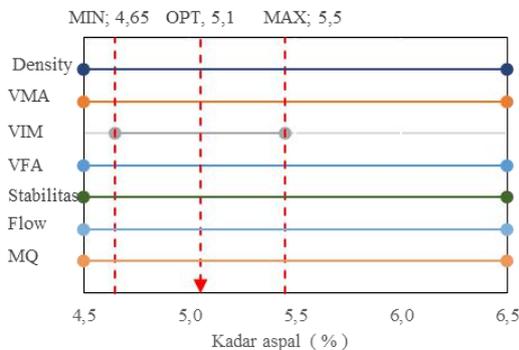
- 1) *Stability* (stabilitas), terlihat dalam hasil penelitian bahwa stabilitas campuran menggunakan cangkang kerang (CK) sebagai pengganti *filler* cenderung menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan tanpa penggunaan CK.

- 2) *MF (marshall flow)*, dalam hasil penelitian benda uji dengan penggunaan cangkang kerang (CK) cenderung menghasilkan nilai yang lebih tinggi, hal tersebut membuktikan bahwa penggunaan CK menghasilkan campuran yang lebih plastis, sejalan dengan penelitian Esentia, (2014).

- 3) *MQ (Marshall quotient)*, merupakan perbandingan antara stabilitas dengan

MF. Nilai MQ digunakan sebagai pendekatan untuk mengetahui sifat fleksibilitas serta kekakuan suatu lapisan perkerasan beraspal. Hasil penelitian

menunjukkan penggunaan cangkang kerrang (CK) nilai MQ cenderung meunurun seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran.



Gambar 1. Grafik *narrow range* 0% CK (a) dan 100% CK (b)

Tabel 3. Rekapitulasi KAO untuk setiap variasi

Variasi CK	range KAO (%)	KAO (%)
0%	4,65 – 5,50	5,10
100%	5,10 – 5,85	5,50

Analisis dengan menggunakan metode *narrow range* diperoleh KAO sebesar 5,10% tanpa penggunaan cangkang kerang (CK) dan 5,50% dengan menggunakan CK. Sesuai dengan Tabel 3, disimpulkan dengan menggunakan serbuk cangkang kerang (CK) sebagai *filler* meningkatkan penggunaan aspal sejalan dengan hasil penelitian Widyaningsih dan Hamzah, (2019).

Karakteristik Marshall pada Kondisi KAO

Setelah mendapatkan nilai KAO, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji sesuai KAO masing-masing variasi campuran. Kemudian dilakukan pengujian karakteristik campuran perkerasan kondisi KAO untuk mengetahui kemampuan campuran dalam menerima beban dan kekuatan tegangan tariknya. Uji karakteristik campuran yang dilakukan adalah uji Marhsall pada kondisi perendaman standar (30 menit, 60 °C) dan perendaman 24 jam (60°C); selain itu, dilakukan uji tarik tak langsung (*indirect tensile strength – ITS*) pada *unconditioned* (tanpa perendaman) dan *conditioned* (perendaman 24 jam, 60°C). Hasil uji dengan kondisi-kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji Marshall pada kondisi KAO

CK (%)	KAO (%)	Rendaman standar	Rendaman 24 jam	RMS (%)
		MS (kg)	MS (kg)	
0	5,10	1532	1407	91,9
100	5,50	1458	1346	92,4

Ditunjukkan bahwa nilai stabilitas pada variasi cangkang kerang (CK) 0% dan 100% telah memenuhi syarat minimum berdasarkan spesifikasi yang berlaku yaitu sebesar 1000 kg. Namun berdasarkan hasil, nilai stabilitas dengan menggunakan CK sedikit mengalami penurunan. Turunnya nilai kekuatan campuran selain karena aspal yang mencair akibat pemanasan suhu dalam *waterbath*,

kerusakan akibat pengaruh air juga mengakibatkan turunnya nilai kelekatan (kohesi) beserta adhesinya dalam ketahanan mengikat material (agregat). Penggunaan cangkang kerang (CK) dalam wujud serbuk/*grid* memberikan berat jenis yang lebih ringan dan secara volume mengisi hampir semua *void* campuran sehingga penggunaan serbuk CK secara berlebih

membuat campuran melemah karena aspal sebagai perekat terselubung oleh serbuk CK, sesuai dengan pernyataan dari Cahyadi et al., (2016) bahwa serbuk CK menghasilkan stabilitas yang lebih rendah dan juga disebabkan karena CK memiliki gradasi yang lebih kasar dibandingkan dengan *filler* debu batu.

Pengujian karakteristik berikutnya dengan uji ITS (*Indirect Tensile Strength*) yaitu pada

kondisi rendaman (*conditioned*) selama 24 jam didalam *waterbath* dengan suhu 60°C dan pada kondisi kering (*unconditioned*). Uji ITS dilakukan dengan alat uji Marshall, benda uji diletakan dengan diameter vertikal dan diberi beban sampai benda uji mengalami runtuh atau retak, kerusakan inilah yang menandai kemampuan maksimum campuran dalam ketahanan kuat tarik. Hasil uji ITS disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji ITS *unconditioned* dan *conditioned*

CK (%)	KAO (%)	ITS (kPa)		
		<i>Unconditioned</i>	<i>Conditioned</i>	TSR (%)
0	5,10	822	736	82,9
100	5,50	929	824	88,7

Dari hasil uji tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *filler* serbuk CK simping (*Placuna placenta*) dapat meningkatkan nilai ITS, hal ini sesuai dengan pernyataan Arabani et al., (2014) dan Ruiz et al., (2020). Hal tersebut membuktikan juga bahwa CK sebagai *filler* dapat meningkatkan kuat tarik pada campuran AC-BC.

Setelah dilakukan uji karakteristik Marshall dan uji ITS, selanjutnya dicari nilai RMS (*Retained Marshall Stability*) atau stabilitas Marshall sisa dan nilai TSR (*Tensile Strength Ratio*), nilai-nilai tersebut mempresentasikan campuran AC-BC terhadap pengaruh repitisi beban kendaraan, pengaruh air dan cuaca. Nilai RMS didapatkan dengan melakukan perbandingan hasil uji Mashall perendaman 24 jam dengan perendaman 30 menit, sedangkan nilai TSR diperoleh dari hasil bagi antara ITS *unconditioned* dengan ITS *conditioned*. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, nilai RMS dan TSR yang dihasilkan mengalami peningkatan dengan menggunakan CK sebagai *filler* dalam campuran AC-BC.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian yang telah dilaksanakan dalam penelitian potensi penggunaan *filler* serbuk cangkang kerrang (CK) simping (*Placuna placenta*) kedalam campuran perkerasan AC-BC yang dapat ditarik adalah:

- 1) Hasil uji Marshall pada semua variasi CK baik 0% dan 100% dalam campuran AC-BC telah memenuhi minimum

sebesar 1000 kg. Nilai RMS pada setiap variasi campuran telah memenuhi persyaratan minimum dengan nilai berturut-turut sebesar 91,9% untuk 0% CK dan 92,4% untuk 100% CK.

- 2) Hasil uji ITS memberikan nilai TSR pada seluruh variasi campuran telah memenuhi syarat minimal dengan nilai 82,9% untuk 0% CK dan 88,7% untuk 100% CK.
- 3) Berdasarkan syarat dalam spesifikasi yang berlaku dan ditinjau dalam hasil uji Marshall dan ITS, bahwa serbuk CK simping (*Placuna placenta*) memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti bahan pengisi (*filler*) kedalam campuran perkerasan AC-BC.

DAFTAR PUSTAKA

- Arabani, M., Babamohammadi, S., Azarhoosh, A.R. 2015. Experimental Investigation of Seashells Used as Filler in Hot Mix Asphalt. *International Journal of Pavement Engineering*, 16(6): 502–509. (<https://doi.org/10.1080/10298436.2014.943132>)
- Asphalt Institute. 2014. *Asphalt mix design methods*. 7th Ed. USA: Asphalt Institute.
- Cahyadi, R., Sylviana, R., Yulius, E. 2016. Perbandingan Nilai Stabilitas Penggunaan Filler Serbuk Kulit Kerang dengan Abu Batu Pada Campuran

- Beton Aspal. *Resultan*, 15(2): 1-12. (<https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/resultan/article/view/1310>)
- Ditjen Bina Marga. (2020). Spesifikasi umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Revisi 2) Kementerian PUPR. Jakarta
- Esentia, A. 2014. “Pengaruh Penggantian Sebagian Filler Semen Dengan Kombinasi 40% Serbuk Batu Bata Dan 60% Abu Cangkang Lokan Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC).” Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Ghozali, H.A. 2018. Pengaruh Penggunaan Abu Dasar (Bottom Ash) pada Paving Block dengan Limbah Kerang Sebagai Substitusi Semen. *Rekayasa Teknik Sipil* 1(01)49–55. (<https://ejurnal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/22143>)
- Iskandar, F.K. 2020. “Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang Dan Fly Ash Sebagai Bahan Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau Dari Nilai California Bearing Ratio (CBR) Dan Unconfined Compression Test (UCT).” Medan: Universitas Sumatera Utara. (<http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/27877>)
- Nciri, N., Shin, T., Lee, H., Cho, N. 2018. Potential of Waste Oyster Shells as a Novel Biofiller for Hot-Mix Asphalt. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(3). (<http://doi.org/10.3390/app8030415>)
- Pangemanan, C.V., Kaseke, O.H., Manoppo, M.R.E. 2015. “Pengaruh Suhu Dan Durasi Terendamnya Perkerasan Beraspal Panas Terhadap Stabilitas Dan Kelelahan (Flow)”. *Jurnal Sipil Statik*, 3(2): 85–90.
- Ruiz, G., Chávez, F., Santamaría, S., Araujo, W., Timaná, J., Schmitt, R. 2020. Laboratory Evaluation of Seashells Used as Fine Aggregate in Hot Mix Asphalt. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(5): 620–628. (<https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1502435>)
- Tajudin, A.N., Suparma, L.B. 2017. “Pengaruh Rendaman Pada Indirect Tensile Strength Campuran AC-BC Dengan Limbah Plastik Sebagai Agregat Pengganti”. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2): 166–173. (<http://doi.org/10.14710/mkts.v23i2.16128>)
- Widyaningsih, N., Hamzah, F.F. 2019. Pengaruh Variasi Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Parameter Marshall di Lapisan Laston AC-WC. *Teknika*, 14(1): 22-29 (<https://10.26623/teknika.v14i1.1517>)