

Pengaruh Penambahan Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) pada Campuran LASTON AC-WC terhadap Parameter Marshall

Sheva Alviano Aziz^{a*}, Achmad Aprilian Arifianto^b, Asri Nurdiana^c, Riza Susanti^d

^{a,b,c,d} Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Corresponding Author:

Email: sheva.al.aziz@gmail.com

Keywords:

PET (*Polyethylene Terephthalate*), POFA (*Palm Oil Fuel Ash*), AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), Marshall Parameters

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: PET (*Polyethylene Terephthalate*) plastic cannot be separated from everyday life, as is commonly found in bottles. The increasing use of plastic, if not managed and utilized correctly, will cause harm to the environment. On the other hand, Indonesia is rated first as a palm-producing country. Unfortunately, it becomes a new problem due to the waste generated. POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) is palm oil waste in the form of grayish-black fine granules resulting from burning palm oil at a temperature of 800 – 1000°C. POFA waste management is needed so that it does not only become waste but has added value. In addition, the high demand for asphalt mixtures requires innovations to improve the characteristics of asphalt mixtures, such as utilizing PET and POFA waste as additives in asphalt mixtures. This research aimed to determine the marshall parameters of the AC-WC mixture added with PET and POFA, obtain the KAO value (*Optimum Asphalt Content*), and look for the cost efficiency of the AC-WC mixture. This study designed 45 samples with details of 15 samples to obtain the KAO value and 30 samples to determine the optimum PET content varying from 1%, 2%, and 3%, along with POFA 50% and 100%. These samples were tested using the Marshall test referring to SNI 2489-2018. This study found that the percentage of 1% and 2% PET met the requirements of the 2018 General Specification Revision 2 with the optimum percentage of adding 2% PET plastic and 50% POFA substitution.

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Penggunaan plastik meningkat rata-rata 200 ton per tahun, berbanding lurus dengan sampah plastik yang dihasilkan (KLHK, 2017). Penggunaan plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) tidak dapat lepas dari kehidupan sehari-hari, seperti yang lazim ditemukan pada botol minuman kemasan Indonesia diperkirakan akan membawa 64 juta ton sampah setiap tahunnya, 1,29 juta ton di antaranya berakhir di laut dimana hanya 7% yang dikelola, sedangkan 69% tetap berada di TPS. Ironisnya, 24% sisanya terbengkalai (*Sustainable Waste Indonesia*, 2017). Oleh karena itu diperlukan pemanfaatan limbah plastik di sektor lain, misalnya sebagai bahan tambah pada campuran LASTON yang dapat menjadi alternatif dari pengolahan limbah sampah.

Disisi lain kelapa sawit menjadi sektor agraris terbesar di Indonesia yang jumlahnya mencapai 8,9 juta hektare, sehingga produksi kelapa sawit meningkat 12,92% menjadi 48,42 juta ton. (Badan Pusat Statistik, 2020). Meningkatnya produksi kelapa sawit akan berpengaruh pada limbah sawit yang dihasilkan. Abu limbah kelapa sawit atau sering disebut POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) merupakan limbah sawit berbentuk butiran halus berwarna hitam keabu-abuan hasil pembakaran kelapa sawit pada suhu 800 – 1000°C. Selain itu, kebutuhan akan campuran aspal yang cukup tinggi memerlukan adanya inovasi untuk meningkatkan karakteristik campuran aspal, seperti memanfaatkan limbah PET dan POFA sebagai bahan tambah pada campuran beraspal. Hasil penelitian dengan kadar penambahan PET sebesar 2% mengakibatkan nilai stabilitas dinamis naik (M. Fadil Natoras Nasution, 2017), kemudian penelitian campuran LASTON menggunakan 25% *filler* POFA dan 75% *fly ash* dari berat total *filler* telah memenuhi standar karakteristik Marshall (Winayati, 2019). Berdasarkan penelitian yang sudah ada, peneliti melakukan pemanfaatan limbah plastik PET dan limbah POFA untuk memperoleh campuran LASTON yang ramah lingkungan, ekonomis dan memiliki kelebihan dibandingkan campuran LASTON tanpa adanya penambahan.

Berdasarkan uraian di atas dilakukan pembuatan campuran LASTON AC - WC dengan penambahan PET dan substitusi POFA menggunakan *marshall test*. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi solusi material perkerasan jalan yang berkualitas dan ramah lingkungan namun tetap ekonomis.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis KAO (Kadar Aspal Optimum) campuran LASTON AC-WC dengan variasi penambahan Plastik PET dan POFA
2. Menganalisis campuran LASTON AC - WC dengan variasi penambahan Plastik PET dan POFA menggunakan metode *marshall test* mengacu pada SNI 2489-2018.
3. Menganalisis perbandingan harga campuran LASTON AC-WC dengan penambahan Plastik PET dan POFA terhadap LASTON AC - WC konvensional.

2. DATA DAN METODE

Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan *literature review* untuk mencari informasi tentang topik pada rumusan masalah. Selanjutnya dilaksanakan penelitian kuantitatif menggunakan metode eksperimen bertempat di Laboratorium Transportasi, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Penelitian ini menguji variasi penambahan Plastik PET dan POFA terhadap stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan alat *marshall*. Variasi yang digunakan adalah plastik PET 1%, 2% dan 3% terhadap berat aspal serta POFA 50% dan 100% terhadap berat *filler*. Tahapan penelitian ini antara lain:

1. Pemeriksaan kelayakan material
2. Persiapan bahan tambahan
3. Pembuatan rancangan campuran laston AC-WC
4. Pengujian dan analisis

Pemeriksaan Kelayakan Material

Pemeriksaan kelayakan material merupakan suatu pengujian guna menentukan kelayakan suatu material agar memenuhi spesifikasi. Peneliti melakukan pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2. Pengujian yang dilakukan berupa agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal, sedangkan untuk limbah PET tidak dilaksanakan pemeriksaan. Agregat kasar sesuai dengan jenis campuran untuk AC-WC, yaitu tertahan saringan 1/2 dan 3/8. Ketentuan agregat halus berupa pasir maksimal 15 % terhadap berat total campuran, sehingga digunakan abu batu untuk memenuhi kebutuhan agregat halus. *Filler* yang digunakan berupa Semen Gresik dan abu cangkang kelapa sawit. Aspal yang dipakai jenis aspal keras pen.60-70.

Persiapan Bahan Tambahan

Persiapan material tambahan dilakukan untuk mengolah material limbah plastik PET dan POFA sebelum di tambahkan kedalam campuran beraspal. Sebelum ditambahkan, limbah PET harus dihilangkan dari berbagai kotoran dan dipotong menjadi kecil (± 10 mm x 10 mm). Sementara itu, untuk POFA terlebih dahulu dilakukan penyaringan menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm). POFA yang telah lolos ayakan No. 200 akan dioven pada suhu 300 °C hingga butiran berwarna putih.



Gambar 2. Plastik PET
(Peneliti, 2023)



Gambar 1. POFA Lolos Ayakan No. 200
yang Telah Dioven (Peneliti, 2023)

Pembuatan Rancangan Campuran LASTON AC - WC

Penentuan komposisi rancangan campuran maka diperlukan pelaksanaan analisis saringan yang mengacu pada SNI ASTM C136:2012. Kemudian dilakukan pembuatan rancangan campuran LASTON AC-WC dengan tambahan PET dan POFA mengacu pada SNI 2489:2018.

Penghitungan perkiraan aspal minimum dilakukan dengan rumus *Asphalt Institute* yaitu:

$$P_b = 0,035 \times CA + 0,045 \times FA + 0,18 \times FF + \text{Absorpsi Aspal}$$

Keterangan:

P_b : % KAO

CA : % agregat tertahan No. 4 (4,75 mm)

FA : % agregat lolos No. 4 (4,75 mm) tertahan No. 200 (0,075 mm)

0,18 F untuk lolos No. 200 (6-10 %) → diambil

0,20 F untuk lolos No.200 (≤ 5 %)

FF : % agregat lolos No. 200 (0,075 mm)

Absorpsi Aspal : Nilai penyerapan setiap agregat terhadap aspal

Pembuatan *job mix* benda uji tanpa tambahan menggunakan kadar aspal 4,5 %, 5 %, 5,5 %, 6 %, dan 6,5% dengan jumlah 3 sampel tiap variasi. Pembuatan benda uji tanpa tambahan bertujuan untuk mendapatkan KAO yang akan dipakai sebagai kadar aspal benda uji inovasi.

Tabel 1. *Mix Design* Sampel Konvensional (Peneliti, 2023)

No	Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah (buah)
1.	4,5%	XV1; XV2; XV3	3
2.	5,0%	XW1; XW2; XW3	3
3.	5,5%	XX1; XX2; XX3	3
4.	6,0%	XY1; XY2; XY3	3
5.	6,5%	XZ1; XZ2; XZ3	3
Jumlah			15

Setelah mendapatkan nilai KAO, dilanjutkan perancangan *job mix design* benda uji dengan penambahan limbah plastik PET dan POFA. Penambahan PET menggunakan variasi kadar 1 %, 2%, dan 3% terhadap berat aspal optimum sebanyak masing-masing berjumlah 3 sampel, sedangkan substitusi POFA sebagai filler memiliki variasi kadar 50% dan 100% terhadap berat *filler* semen.

Tabel 2 *Mix Design Sampel* dengan Penambahan PET dan Substitusi POFA (Peneliti, 2023)

No	Kadar PET	Kadar <i>Filler</i>	Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah (buah)
1.	1%	50% POFA : 50% PC		AZ1; AZ2; AZ3; AZ4; AZ5	5
2.		100% POFA		BY1; BY2; BY3; BY4; BY5	5
3.	2%	50% POFA : 50% PC	5,5 %	CX1; CX2; CX3; CX4; CX5	5
4.		100% POFA		DW1; DW2; DW3; DW4; DW5	5
5.	3%	50% POFA : 50% PC		EV1; EV2; EV3; EV4; EV5	5
6.		100% POFA		FU1; FU2; FU3; FU4; FY5	5
Jumlah					30

Pengujian dan Analisis

Proses pengujian sampel menggunakan metode *marshall test* mengacu pada SNI 2489-2018, dengan tahapan berikut:

1. Merendam sampel pada penangas air selama 30 - 40 menit.
2. Keluarkan sampel dari penangas air; Waktu pengangkatan sampai diletakkan pada alat *marshall* maksimal 30 detik;
3. Letakkan sampel pada alat *marshall* kemudian pasang bagian atas alat penekan.

4. Pasang dial *flow* diatas batang penutup dan atur dial pada angka nol.
5. Sebelum dilakukan pembebanan, pastikan penekan menyentuh alas cincin penguji.
6. Atur dial stabilitas pada angka nol;
7. Memberikan pembebanan pada sampel sampai pembebanan maksimum tercapai ditandai dengan jarum pada dial stabilitas yang mulai turun.
8. Catat nilai *flow* dan stabilitas ketika pembebanan stabilitas maksimum.

Setelah mendapatkan data stabilitas dan *flow*, dilakukan proses perhitungan untuk mencari parameter *marshall* dari sampel tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar variasi dengan parameter *marshall*, sehingga diperoleh nilai variasi yang memenuhi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Kelayakan Material

Pemeriksaan agregat berupa sifat-sifat fisis, meliputi uji berat jenis, uji absorpsi, uji kelekatan, uji keausan agregat dengan mesin Los Angeles, dan material lolos saringan No. 200. Sedangkan pengujian aspal, meliputi uji penetrasi, uji daktilitas, uji titik lembek, dan uji berat jenis. Ketentuan pemeriksaan material berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 seperti pada Tabel 3 – Tabel 7:

1. Agregat Kasar

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Batu *Split ¾"* (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,740	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	0,97	%	Maks. 3
Kelekatan	95	%	Min. 95%
Keausan Agregat	14,86	%	Maks. 30%
Material Lolos No.200	0,94	%	Maks. 2%

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Batu *Split ½"* (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,714	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	1,55	%	Maks. 3
Kelekatan	95	%	Min. 95%
Keausan Agregat	14,86	%	Maks. 30%
Material Lolos No.200	1,56	%	Maks. 2%

2. Agregat Halus

Tabel 5 Hasil Pemeriksaan Pasir (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,802	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	1,38	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	8,43	%	Maks. 10%

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Abu Batu (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,571	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	2,38	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	9,63	%	Maks. 10%

3. Filler

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Semen (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,714	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	5,5%	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	86,7	%	Min. 75%

Tabel 8 Hasil Pemeriksaan POFA (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,080	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	1,78	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	84,6	%	Min. 75%

4. Aspal

Tabel 9 Hasil Pemeriksaan Aspal (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	1,15	kg/m ³	Min. 1
Uji Penetrasi	65,8	(0,1 mm)	60 - 70
Daktilitas	150	cm	Min. 100
Titik Lembek	49	°C	Min. 48

Hasil Marshall Test

Sampel yang akan dilakukan pengujian, terlebih dahulu melalui pemeriksaan fisik berupa pengukuran tinggi dan berat. Luaran *marshall test* berupa nilai stabilitas dan pelelehan, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter *marshall* berupa VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Kelelehan, dan MQ.



Gambar 3. Marshall Test

Tabel 10 Hasil Pengujian Marshall Campuran LASTON AC-WC Konvensional (Peneliti, 2023)

Parameter Marshall	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
VIM (%)	3,61	3,39	5,34	4,35	7,00	3 - 5
VMA (%)	11,20	12,03	14,81	14,92	6,55	Min. 15
VFA (%)	72,29	74,73	67,31	73,33	49,15	Min. 65
Stabilitas (kg)	1914,94	2077,03	2061,74	1527,90	1673,56	Min 800
Kelelehan (mm)	2,52	2,52	2,24	2,42	3,40	2- 4
Marshall Quotient	745,88	856,00	900,84	483,86	483,86	-

Berdasarkan hasil perhitungan dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *marshall*, sehingga diperoleh nilai KAO yang memenuhi yaitu pada kadar aspal 5,5%.

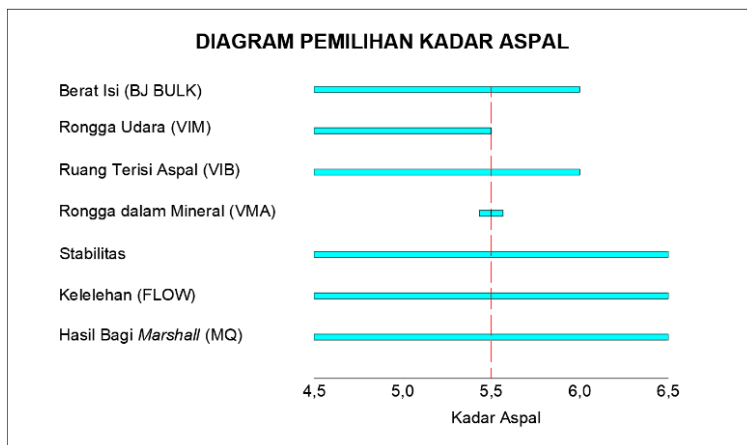


Diagram 1. Diagram Pemilihan Kadar Aspal (Peneliti, 2023)

Setelah didapatkan KAO hasil dari pengujian *marshall* sampel konvensional, dilanjutkan dengan pembuatan sampel inovasi. Selanjutnya dengan cara yang sama, dilakukan pengujian *marshall test* pada sampel inovasi.

Tabel 11 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran LASTON AC-WC Inovasi (Peneliti, 2023)

Parameter <i>Marshall</i>	Kadar PET						Spesifikasi
	1%		2%		3%		
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
VIM (%)	4,318	5,739	5,665	6,301	6,598	7,232	3 - 5
VMA (%)	13,844	15,080	14,803	15,586	15,897	16,425	Min. 15
VFA (%)	73,002	66,586	69,635	64,648	63,283	60,838	Min. 65
Stabilitas (kg)	1380,329	1380,721	1627,426	1645,061	1679,898	1780,791	Min 800
Kelelehan (mm)	2,076	2,090	2,050	2,104	2,026	2,154	2- 4
<i>Marshall</i>	652,190	648,115	795,879	786,139	865,990	857,685	-

Berdasarkan hasil perhitungan dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar variasi PET dan POFA dengan parameter *marshall*, sehingga diperoleh nilai variasi kadar yang memenuhi pada PET 1% dan 2% dengan kadar optimum pada PET 2% dan POFA 50%.

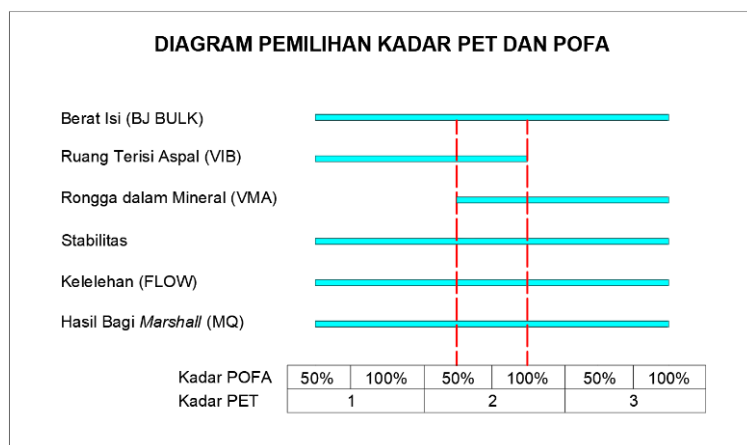


Diagram 2. Diagram Pemilihan Kadar PET dan POFA (Peneliti, 2023)

Kebutuhan Biaya Material LASTON AC-WC

Berikut merupakan perbandingan kebutuhan biaya material antara pembuatan 1 ton LASTON AC - WC konvensional dengan LASTON AC - WC inovasi penambahan PET dan substitusi POFA.

Tabel 12 LASTON AC-WC Konvensional (ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen PC	18	kg	Rp1.520	Rp28.728
Aspal	55	kg	Rp17.000	Rp935.000
Split ¾"	113,4	kg	Rp200	Rp22.680
Split ½"	292,9	kg	Rp200	Rp58.580
Pasir	141,8	kg	Rp260	Rp236.868
Abu Batu	378	kg	Rp128	Rp48.384
Jumlah				Rp1.130.240

Tabel 13 LASTON AC-WC dengan Penambahan PET 2% dan Substitusi POFA 50% (ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen PC	9,45	kg	Rp1.520	Rp28.728
Aspal	55	kg	Rp17.000	Rp935.000
Split ¾"	113,4	kg	Rp200	Rp22.680
Split ½"	292,9	kg	Rp200	Rp58.580
Pasir	141,8	kg	Rp260	Rp236.868
Abu Batu	378	kg	Rp128	Rp48.384
PET	1,1	kg	Rp0	Rp0
POFA	9,45	kg	Rp0	Rp0
Jumlah				Rp1.115.876

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisis data, didapatkan kesimpulan berikut:

1. KAO yang didapatkan dari perhitungan *marshall test* sebesar 5,5%
2. Kadar optimum penambahan limbah plastik PET dan POFA pada campuran beraspal LASTON AC - WC sebesar PET 2 % dan POFA 50%
3. Biaya kebutuhan material campuran beraspal inovasi lebih efisien dibandingkan dengan material campuran beraspal konvensional dikarenakan dapat mengurangi penggunaan material semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Sipil dan Perencanaan, dosen pembimbing dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.

REFERENSI

- Tim Publikasi Katadata (10 Desember 2021). Menuju Indonesia Peduli Sampah. Diperoleh dari <https://katadata.co.id/timpublikasikatadata/infografik/5e9a4c4a336e0/menuju-indonesia-peduli-sampah>.
- Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2019. Jakarta.
- Nasution, M. F. N. (2017). Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium Skripsi, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara).
- Winayati, Fadrizal Lubis, V. T. H. (2017). Pengaruh Filler Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Marshal Pada Campuran AC-BC. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 3(1), 19–26.
- Muqoddam, A. F. (2018). (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran AC-BC Sebagai Inovasi Eco- Material Skripsi, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Salma Alwi, Anung Sudibyo, H. (2020). Pengaruh Penggunaan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran Aspal AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Inersia*, XII(1), 16–24.
- Abidin, Z., Bunyamin, B., & Kurniasarir, F. D. (2021). Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(1), 1631–1638. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i1.2653>
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall. SNI 2489:2018. Jakarta.
- Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2. Jakarta.
- Dinas PU Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah (5 Mei 2022). Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Konstruksi Bidang Bina Marga Edisi Ke - 2 Tahun 2022. Diperoleh dari http://maspetruk.dpubinmarcipka.jatengprov.go.id/harga_satuan/hspk_binamarga#.