

PEMANFAATAN LIMBAH ASPAL HASIL *COLD MILLING* SEBAGAI BAHAN TAMBAH PEMBUATAN PAVING

Muhammad Ujjianto¹, Sunandar priya Karnanta²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 714717

*Email:ujjianto.ums@gmail.com

Abstrak

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang teknik sipil sangat pesat sebagai contoh pembuatan paving. Bahan dasar pembuatan paving adalah semen, pasir, dan air. Paving termasuk beton ringan cetak yang mempunyai beberapa keuntungan pemakaian dalam pembangunan trottoir, halaman dan lahan parkir yang bisa terlihat lebih tertata dan berkarakteristik. Aspal patching adalah limbah aspal jalan raya yang telah rusak. Aspal yang rusak perlu perbaikan dan pengambilan aspal (cold milling) diganti dengan aspal yang baru. Ketersediaan aspal hasil cold milling cukup banyak karena setiap tahun banyak jalan yang berlubang dan rusak sehingga perlu perbaikan jalan. Aspal hasil cold milling biasanya tidak lagi digunakan pada perkerasan aspal sehingga aspal hasil cold milling hanya dibuang dipinggir-pinggir jalan sebagai bahan timbunan. Maka dari itu diperlukan inovasi baru dalam memanfaatkan limbah aspal hasil cold milling sebagai bahan tambah pembuatan paving. Keunggulan dari aspal hasil cold milling yaitu aspal hasil cold milling terdiri dari bahan-bahan yang cukup baik karena bahan baku yang digunakan pembuatan jalan sudah lolos berbagai pengujian dan merupakan bahan pilihan dan bahan dicampur dengan aspal bermutu baik.

Pada penelitian ini mencoba membuat paving dengan bahan tambah dari limbah aspal hasil cool milling yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah aspal hasil cold milling terhadap kuat tekan dan nilai koefisien permeabilitas. Prosentase penambahan aspal hasil cold milling sebesar 0%, 15%, 25%, 35%, 50% dari berat pasir. Ukuran limbah aspal patching lolos saringan no. 4 (4,75 mm), Perencanaan campuran paving dengan perbandingan berat 1 : 6 antara semen dan agregat halus, nilai fas 0,4. Benda uji yang dipakai berukuran 10 x 6 x 21 cm jumlah 60 buah. Pengujian paving dilaksanakan setelah umur paving 28 hari, Dari hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, diperoleh hasil bahwa campuran adukan paving dengan penambahan aspal hasil cold milling sebesar 25% dengan fas 0,4 menghasilkan kuat tekan rata-rata 12,03 MPa dan nilai permeabilitas 0,000245925 mm/dt. Menurut SNI 03-0691-1996 paving ini termasuk paving kelas D baik digunakan untuk taman. Penambahan bahan tambah aspal hasil cold milling sebesar 25% dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 20% dibandingkan kuat tekan paving dengan campuran air semen dan pasir tanpa penambahan limbah aspal hasil cool milling.

Kata Kunci : *Paving Block, Aspal Hasil Cold Milling, Kuat Tekan, Kualitas.*

1. PENDAHULUAN

Paving block atau blok beton terkunci menurut SNI 03 - 0691 – 1996 adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut. Bahan dasar paving adalah semen, pasir, dan air yang dapat digunakan seperti pembuatan trotoar, halaman, dan parkir.

Aspal patching adalah limbah aspal jalan raya yang telah rusak dan berlubang sehingga perlu perbaikan dan pengambilan aspal (cold milling) yang lama diganti dengan aspal yang baru, Ketersediaan aspal patching cukup banyak karena setiap tahun banyak jalan yang berlobang dan rusak sehingga perlu perbaikan jalan. Aspal patching biasanya tidak lagi digunakan pada perkerasan aspal sehingga aspal patching hanya dibuang dipinggir-pinggir jalan dan sebagai tanah timbun. Maka dari itu diperlukan inovasi baru dalam memanfaatkan limbah aspal patching sebagai bahan tambah pembuatan paving. Keunggulan dari aspal patching yaitu aspal patching terdiri dari bahan-bahan yang cukup baik karena bahan baku yang digunakan pembuatan jalan sudah lolos berbagai pengujian dan merupakan bahan pilihan dan bahan dicampur dengan aspal sehingga

kekuatan akan menjadi tinggi sehingga baik digunakan sebagai bahan tambah paving . Paving adalah beton ringan cetak yang terbuat dari campuran antara pasir semen dan air dengan perbandingan tertentu yang digunakan untuk pemasangan seperti trotoar, halaman, dan parkir. Paving mempunyai keuntungan pemakaian dalam pembangunan halaman dan parkir yang bisa terlihat lebih tertata dan berkarakteristik. Semakin majunya di dunia pembangunan, maka inovasi-inovasi mulai muncul dalam pembuatan paving untuk menambah bentuk, variasi campuran dan kualitas paving. Dengan menambahkan bahan tambah akan meningkatkan kekuatan paving.

Penelitian Noer Hamid Nazir (2007) yang berjudul pemanfaatan limbah batubara (bottom ash) sebagai paving ditinjau dari aspek teknik dan lingkungan, diketahui bahwa kondisi optimal menurut standar mutu teknis (SNI 03-0691-1996) terdapat pada perbandingan komposisi berat semen dan agregat halus sebesar 1 : 6, dengan proporsi limbah batubara (bottom ash) sebesar 10% dari berat agregat halus. Dari proporsi perbandingan tersebut didapatkan kuat tekan paving block sebesar 12,11 MPa dan penyerapan air sebesar 11,20%. Pada paving block tersebut terdapat unsur logam berat yang melebihi standar baku mutu (PP Nomor 85 tahun 1999), yaitu berupa kadmium (Cd) sebesar 3,221 ppm, kromium (Cr) sebesar 18,409 ppm, tembaga (Cu) sebesar 26,781 ppm, dan timbal (Pb) sebesar 34,988 ppm. Budi Waluyo (2009) yang berjudul pengaruh campuran abu sekam padi terhadap kuat tekan paving block dengan variasi 0%, 30%, 35%, dan 40% pada perbandingan 1 pc 10 ps, 1 pc 13 ps, dan 1 pc 15 ps. Pada penelitian ini abu sekam padi berfungsi sebagai bahan tambah pengganti semen.

Dalam penelitian ini menggunakan sampel paving Holland dengan ukuran 21 cm x 10 cm tebal 6 cm. Pembuatan paving dilakukan dengan mesin press yang bertekanan 80 kg/cm. Perencanaan paving menggunakan perbandingan 1 : 6 dengan persentase bahan tambah limbah aspal *patching* sebesar : 0%, 10%, 25%, 35% dan 50% dihitung dari berat pasir dengan fas 0,4. Ukuran limbah aspal *patching* lolos saringan no. 4 (4,75 mm). Pengujian kuat tekan dan uji permeabilitas dilakukan pada umur 28 hari

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui kuat tekan dan permeabilitas paving akibat penambahan aspal *patching* dengan presentase penambahan 0%, 15%, 25%, 35%, dan 50% dari berat pasir. Dalam penelitian yang berjudul Pemanfaatan Limbah Aspal Hasil *Cold Milling* sebagai Bahan Tambah Pembuatan Paving ini diharapkan bahwa paving tersebut bisa digunakan sebagai alternatif material yang berkualitas dan ekonomis.

2. METODE PENELITIAN

Paving

Paving disebut juga dengan bata beton atau beton ringan adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *Portland* atau bahan perekat *hidrolis* sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu sendiri (SNI 03-0691-1996)

Beton merupakan campuran antara semen *portland* atau semen *hidrolik* yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat (Departemen Pekerjaan Umum, 1993-SNI 03-2834).

Hal-hal atau faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode dalam campuran, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran yang akan dilaksanakan yang akan dilaksanakan. Untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat campuran yang tepat agar mendapatkan nilai kuat tekan yang di tentukan (Mulyono, 2005). Nilai 0,85 f'c syarat yang ditentukan oleh Badan Standar Nasional Indonesia.

Aspal *patching* (*ex. cold milling*) adalah limbah aspal perkerasan jalan yang telah rusak sehingga dilakukan pengambilan atau penggalian aspal yang sudah tidak dipergunakan lagi. penggunaan aspal *patching* dalam pembuatan paving harus lolos saringan no. 4 sehingga aspal *patching* perlu ditumbuk agar lebih halus. aspal *patching* baik juga digunakan untuk penambalan-penambalan lubang pada jalan yang tidak terlalu besar.

Semen *Portland* adalah semen *hidrolik* yang di hasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat *hidrolik*, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (Mulyono, 2005).

Senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam semen *portland* adalah sebagai berikut :

- 1). *Trikalsium Silikat* (3CaO. SiO₂) yang disingkat menjadi C₃S.

- 2). *Dikalsium Silikat* (2CaO. SiO₂) yang disingkat menjadi C₂S.
- 3). *Trikalsium aluminat* (3CaO. Al₂O₃) yang disingkat menjadi C₃A.
- 4). *Tertrakalsium aluminoferrit* (4CaO. Al₂O₃. Fe₂O₃) yang disingkat menjadi C₄AF.

Senyawa-senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat atau mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C₃S dan C₂S berkisar 70%-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Tjokrodiluljo, 1992, dalam Mulyono, 2005)

Agregat halus pada pengerjaan beton berupa pasir dari alam maupun buatan dengan ukuran tidak lebih dari 40 mm. Menurut SII.0052 (dalam Mulyono, 2005), spesifikasi agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1). Modulus halus butir 1,5 sampai 3,8.
- 2). Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5%.
- 3). Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (Na₂SO₄) 3% jika dibandingkan dengan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
- 4). Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat maksimum 15%).
- 5). Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
- 6). Harus mempunyai variasi besar butir atau gradasi yang baik.

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan sekitar 25 persen dari berat semen saja. Namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35.

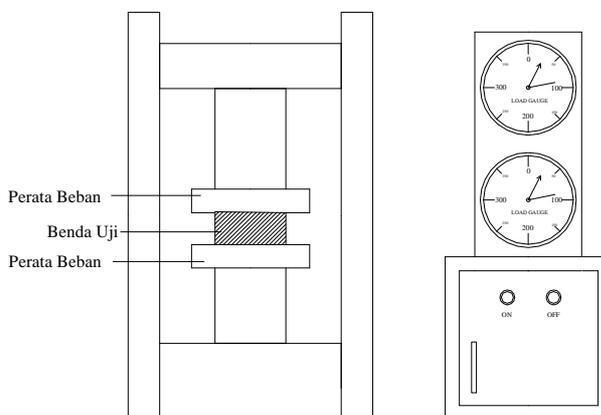
Setelah benda uji berumur 28 hari sesuai dengan rencana, maka dilakukan pengujian benda uji paving terhadap kuat tekan paving dan permeabilitas.

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan memberikan beban pada permukaan benda uji silinder beton sampai retak/hancur. Besarnya kuat tekan dinding panel masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dengan : f'_c = Kuat tekan maksimum beton (N/mm²)
 P_{max} = Beban maksimum (N)
 A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Nilai kuat tekan beton dinyatakan dalam N/mm² atau MPa. Menurut Tjokrodiluljo (1996), kuat tekan bergantung pada faktor air semen, gradasi campuran, bentuk batuan, ukuran maksimum batuan, cara pengerjaan (campuran, pengadukan, pemadatan dan perawatan), umur beton, serta pemakaian bahan tambah yang digunakan.



Gambar 1. Skema pengujian kuat tekan

Untuk mengetahui nilai koefisien permeabilitas dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{1}{A} \frac{dq}{dt} = K \frac{dh}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan $\frac{dq}{dt}$ = kecepatan aliran air

- A = luas penampang
- K = Koefisien permeabilitas
- dh = tinggi air jatuh
- L = ketebalan sampel

Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen *Portland* dengan merk *Holcim*. Agregat pasir dan limbah aspal *patching* yang berasal dari daerah Klaten. Air berasal dari lingkungan UMS. Alat-alat yang digunakan meliputi : Satu set ayakan, mesin penggetar ayakan, timbangan, gelas ukur, oven, *Helige tester*, bak perendaman benda uji, mesin uji kuat tekan, mesin press paving, cetakan paving dan peralatan penunjang lain.

Untuk mendapatkan hasil dari penelitian ini, maka dibuat urutan kegiatan mulai dari memperoleh data sampai data tersebut berguna sebagai data untuk membuat kesimpulan. Kegiatan ini dimulai dari proses pengumpulan data, pengolahan/analisis data, dan cara pengambilan kesimpulan secara umum, yang dibagi dalam 5 tahap.

Tahap I : Pesiapan alat dan Penyediaan bahan. Pada tahap ini dilaksanakan persiapan alat dan penyediaan bahan penyusun untuk pemeriksaan bahan penyusun paving

Tahap II : Pemeriksaan Bahan dasar. Sebelum membuat campuran adukan paving pada tahap ini dilakukan uji bahan dasar paving yang berupa agregat halus dengan melakukan pemeriksaan SSD (*Saturated surface Dry*), Analisa saringan, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian bahan organik, dan pengujian kadar lumpur.

Tahap III : pembuatan dan perawatan paving. Pada tahap ini pencampuran adukan paving menggunakan perbandingan berat semen dan agregat halus 1: 6 dengan pembuatan benda uji 60 buah.

Tahap IV : Pengujian Paving. Tahapan ini dilakukan untuk pengujian sampel benda uji yang meliputi kuat tekan, penyerapan air, ketahanan natrium sulfat dan permeabilitas dengan umur benda ujin 28 hari.

Tahap V : Analisis Data dan kesimpulan. Tahapan ini dilakukan pengolahan data hasil pengujian yang diperoleh dalam pengujian kuat tekan paving, penyerapan air, ketahanan natrium sulfat dan permeabilitas, hasil dari pengujian dianalisa apakah hasil pengujian tersebut sesuai dengan karakteristik paving.dan berdasarkan analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan.

Pengujian kuat tekan paving dilakukan dengan cara memberikan beban pada benda uji sampai hancur. Dengan bentuk paving berbentuk kubus berukuran 6 x 6 cm dalam prosedur ini didalam SNI 03-0691-1996 tidak ditentukan pengujian paving berbentuk seperti apa sehingga dilakukan pada umumnya yang dilakukan dilaboratorium prosedur pengujian kuat tekan beton dilakukan berbentuk kubus atau silinder dengan perbandingan 1:1 atau 1:2. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

- 1). Menyiapkan benda uji paving yang akan diuji lalu ditimbang beratnya.
- 2). Benda uji diletakkan pada mesin penekan dengan posisi benda uji yang telah diatur sedemikian rupa agar benda uji tepat pada tengah alat penekan.
- 3). Pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan secara *continue* dengan menggunakan mesin *hidrolik* sampai benda uji mengalami retak atau hancur.
- 4). Beban maksimum yang ditujukan oleh jarum pununjuk dicatat secara kontinyu.

Pengujian permeabilitas beton dapat diukur dari percobaan sampel beton yang *disealed* dari air yang bertekanan pada sisi atasnya saja dan meliputi aspek banyaknya air yang mengalir lewat

ketebalan beton pada waktu tertentu (SNI-36-1990-03). Cara uji permeabilitas dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1). Penyiapan benda uji kemudian dioven selama 24 jam
- 2). Air dengan tekanan tertentu dimasukan lewat selang pada permukaan atas sampel dengan cara memberi lubang sebesar pipa selangnya.
- 3). Sampel kemudian diberi air bertekanan 1 kg/cm² selama 48 jam, kemudian dilanjutkan air bertekanan 3 kg/cm² selama 24 jam dan dilanjutkan air bertekanan 7 kg/cm² selama 24 jam.
- 4). kemudian sampel diatasnya diberi selang yang telah diisi air fungsi dari selang untuk mengetahui penurunan air selama 1 jam sehingga didapat besarnya koefisien permeabilitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Paving

Pengujian kuat tekan paving dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 6 cm x 6 cm. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan paving

No	Tinggi fas	Penambahan aspal <i>patching</i> (%)	Luas penampang (cm ²)	Fm (kN)	Kuat tekan maks. (kg/cm ²)	Kuat tekan maks (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1.	0,4	0%	36	360	101,3	10,13	10,38
			36	380	106,9	10,69	
			36	350	108,3	10,33	
2.	0,4	15%	36	350	97,2	9,72	9,90
			36	350	98,6	9,86	
			36	360	101,3	10,13	
3.	0,4	25%	36	420	118,0	11,80	12,03
			36	420	122,2	12,22	
			36	420	120,8	12,08	
4.	0,4	35%	36	410	113,8	11,38	11,11
			36	400	111,1	11,11	
			36	350	108,3	10,83	
5.	0,4	50%	36	340	95,8	9,58	9,44

Hasil pengujian kuat tekan paving berbentuk kubus berukuran 6 cm x 6 cm dengan fas 0,4 pada usia 28 hari adalah pada penambahan aspal *patching* 0 % menghasilkan rata-rata kuat tekan 10,38 MPa, dan penambahan berikutnya yaitu 15 % menghasilkan kuat tekan rata-rata 9,90 MPa,

berikutnya dengan penambahan aspal *patching* 25 % menghasilkan kuat tekan rata-rata 12,03 MPa, selanjutnya dengan penambahan aspal *patching* 35% menghasilkan kuat tekan rata-rata 11,11 MPa, dan yang terakhir dengan penambahan aspal *patching* dengan 50 % kuat tekan rata-rata adalah 9,4 MPa. Kuat tekan paving maksimum pada presentase penambahan aspal *patching* 25 % yaitu sebesar 12,03 MPa. menurut SNI 03-0691-1996 kekuatan fisis paving block ada 4 mutu yaitu mutu A digunakan untuk jalan mempunyai kuat tekan rata-rata 40 MPa, mutu B digunakan untuk pelataran parker mempunyai kuat tekan sebesar 20 MPa. mutu C digunakan untuk pejalan kaki mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar 15 MPa dan mutu D digunakan untuk taman dan pengguna lainnya mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar 10 MPa. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan rata-rata maksimumnya itu 12,03 MPa dengan penambahan aspal *patching* sebesar 25 % sehingga pada pengujian paving ini menurut SNI 03-0691-1996 termasuk jenis paving kelas D yaitu digunakan untuk taman dan pengguna lainnya.

Uji Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk paving persegi atau aslinya. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil pengujian Koefisien Permeabilitas

No	Penambahan aspal <i>patching</i> (%)	Penujuran air jam (mm)	A		Kealiran (mm/dt)	Koefisien permeabilitas (mm/dt)	Rata-rata koefisien permeabilitas
			Luas (m ²)	Salang (m)			
0%		170	384,5	1	0,0422	0,00020411	0,00021781
		180	384,5	1	0,0400	0,00021647	
		193	384,5	1	0,0461	0,00023294	
15%		230	384,5	1	0,0689	0,00027627	0,00028007
		213	384,5	1	0,0417	0,00025666	
		255	384,5	1	0,0783	0,00030617	
25%		218	384,5	1	0,0656	0,00026284	0,00024595
		205	384,5	1	0,0494	0,00024637	
		190	384,5	1	0,0478	0,00022883	
35%		192	384,5	1	0,0433	0,00023190	0,00023955
		220	384,5	1	0,0611	0,00026491	
		185	384,5	1	0,0439	0,00022265	
50%		215	384,5	1	0,0472	0,00025873	0,00025997
		223	384,5	1	0,0694	0,00026802	
		210	384,5	1	0,0433	0,00025255	

Perhitungan Koefisien permeabilitas

$$Dq = \frac{170}{3600} = 0,04722 \text{ mm/dt}$$

$$A = 0,25 \times \pi \times 70^2 = 3846,5 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{A} \frac{dq}{dt} = k \frac{dh}{L}$$

$$\frac{1}{3846,5} \times \frac{0,04722}{3600} = k \frac{1000}{60}$$

$$K = 0,000204611$$

Dilihat dari Tabel 2. di atas, berdasarkan SNI 36-1990-03 beton kedap air yaitu dengan memenuhi ketentuan minimum beton kuat tidak lebih dari 40 mm dan beton sedang tidak lebih dari 50 mm dan nilai koefisien permeabilitasnya $1,5 \cdot 10^{-11}$ m/dt. Sedang pada pengujian paving semua tidak kedap dari air atau tembus air dengan nilai permeabilitas terendah yaitu rata-rata 0,000217851 mm/dt.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan mengenai paving menggunakan bahan tambah aspal *patching*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian kuat tekan paving maksimum terjadi pada penambahan limbah aspal *patching* sebesar 25% dengan menghasilkan nilai kuat tekan paving rata-rata sebesar 12,03 MPa. Menurut SNI 03-0691-1996 paving ini termasuk paving kelas D baik digunakan untuk taman.
2. Pada pengujian permeabilitas, semua paving tidak kedap dari air dengan nilai koefisien permeabilitas sebesar rata-rata 0,000217851.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi Waluyo 2013. *Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Paving Block Dengan Variasi 0%, 30%, 35%, dan 40% Pada Perbandingan 1 pc 10 ps, 1 pc 13 ps, dan 1 pc 15 ps*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1996. *Bata Beton Block Paving SNI 03-0691-1996*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1993. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 03-2834-1993*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1990. *Pemeriksaan Gradasi, Berat Jenis, Keausan, Kadar Lumpur, dan Penyerapan Air Agregat Halus & Kasar*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Noer Hamed, N. 2001. *Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Bottom Ash) sebagai Paving Ditinjau Dari Aspek Teknik dan Lingkungan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Mulyono, T. 2005. *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.