

UJI SERAPAN DAN PERMEABILITAS AIR LAUT PADA BETON MUTU TINGGI (*HIGH STRENGTH CONCRETE*) DENGAN BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI

Achsan Nur Cholís, Achmad Basuki, Sunarmasto

Universitas Sebelas Maret Surakarta

Abstract

The use of concrete in civil engineering already very widespread, not only on land but also the concrete used for structure directly contacted with water. The important point is about durability of concrete. Durability of concrete is affected by permeability and absorption. Permeability is the speed of the liquid to get into the concrete, while the uptake (absorption) is the process of entry of water through the pores. The smaller the number of pores in the concrete, the higher the compressive strength and the lower the value of permeability and absorption. Rice husk ash is Pozolan reactive material that works to improve the microstructure of the transition area interface between cement paste and aggregate. Absorption value on the specimen showed the 1.6812% to 3.4003% and the sea water to fresh water. Value permeability test object is $5,6371 \cdot 10^{-9}$ $5,8211 \cdot 10^{-9}$ for fresh water and sea water.

Keywords : *absorption, permeability, rice husk ash, sea water, fresh water*

PENDAHULUAN

Penggunaan beton dalam dunia teknik sipil sudah sangat luas, tidak hanya di darat akan tetapi beton juga digunakan untuk struktur yang berhubungan langsung dengan air. Pemilihan beton sebagai material konstruksi karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya mudah dibentuk memiliki kuat tekan tinggi, bahan bakunya mudah didapat dan memiliki umur kerja yang lama.

Salah satu hal yang harus diperhatikan mengenai beton adalah durabilitas. Kekuatan dan durabilitas beton sangat dipengaruhi jumlah pori dalam beton, semakin banyak pori maka semakin rendah nilai kuat tekan dan durabilitas beton tersebut. Menurut Jackson and Dhir beton dapat rusak karena masuknya bahan-bahan terkontaminasi yang secara tidak sengaja ikut masuk ke dalam beton melalui pori-pori. Mekanisme masuknya air ke dalam beton

terdapat tiga cara yaitu serapan, permeabilitas dan difusi. Untuk mengurangi kerusakan pada beton hal yang harus diperhatikan adalah jumlah pori. Beton yang memiliki kekuatan tinggi pasti akan memiliki jumlah pori yang sedikit, sehingga mengurangi jumlah air yang masuk ke dalam beton.

Menurut Kardiyono selain berfungsi sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kekuatan mekanik, *fly ash* juga berfungsi sebagai pozolan yang dapat mengurangi penetrasi sulfat, garam dan air asam apabila digunakan sebagai pengganti semen dengan kadar 25-30%. Dakroury and Gasser juga mengungkapkan bahwa abu sekam padi telah digunakan untuk membuat beton mutu tinggi yang digunakan pada dermaga, jembatan, dan bangunan pembangkit tenaga nuklir karena dapat mengurangi permeabilitas air ke dalam beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut ACI Committee 201 ketahanan beton digambarkan sebagai kemampuan untuk bertahan terhadap kerusakan karena pengaruh iklim, serangan bahan kimia, pengausan, atau proses pembusukan lain. Suatu beton yang dapat bertahan lama akan menjaga bentuk asli dan mutu ketika menghadapi berbagai kondisi lingkungan.

Menurut Jackson and Dhir durabilitas beton didefinisikan sebagai ketahanan dari suatu beton terhadap proses yang merusak beton yang terjadi akibat hasil interaksi dengan lingkungan eksternal, atau antara material penyusun dengan bahan-bahan terkontaminasi yang secara tidak sengaja ikut menjadi material penyusun beton. Bahan-bahan terkontaminasi tersebut dapat masuk ke dalam beton dengan air melalui beberapa mekanisme yaitu :

- a. Absorpsi (penyerapan), terjadi dengan cara masuknya air melalui pipa kapiler/pori-pori beton. Sering terjadi pada bangunan air (khususnya di pelabuhan).
- b. Permeabilitas, terjadi akibat adanya perbedaan tekanan baik cairan maupun gas. Contohnya adalah pada bangunan yang selalu berkaitan dengan tekanan air, misalnya bangunan penahan air, atau bangunan dalam air yang dalam.
- c. Difusi, terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi baik cairan, gas, maupun ion.

Permeabilitas adalah kemampuan media yang porus untuk mengalirkan fluida. Material dengan ruang kosong diantaranya disebut pori, dan apabila ruang kosong itu saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Batuan, beton, tanah dan bahan material lain

dapat merupakan material porus dan permeabel. Material dengan ruang kosong yang lebih besar biasanya mempunyai angka pori yang lebih besar pula (Bowles, JE 1986)

Penggunaan abu sekam padi dengan kombinasi campuran yang sesuai pada semen akan menghasilkan komposit semen yang lebih baik (Singh et al., 2002). Abu sekam padi telah digunakan sebagai bahan pozzolan reaktif yang sangat tinggi untuk meningkatkan mikrostruktur pada daerah transisi interfase antara pasta semen dan agregat. Sarawathy and Song (2007) menyarankan penggunaan abu sekam padi sebesar 25% untuk membuat komposit semen tetapi penggunaan abu sekam padi sampai 30% sebagai pengganti sebagian semen masih dapat mengurangi penetrasi klorida, mengurangi permeabilitas, meningkatkan kekuatan, dan meningkatkan sifat anti karat komposit semen.

Menurut Joseph F. Lamond absorpsi merupakan besaran yang menunjukkan perbandingan antara berat sampel dalam keadaan kering dengan sampel yang terendam air. Nilai absorpsi merupakan salah satu indikator dari struktur yang berpori. Absorpsi merupakan proses masuknya air ke dalam beton melalui pori-pori yang ada. Menurut Levit (1984) dan (*Concrete Society*) terdapat 3 kategori absorpsi, yaitu absorpsi rendah yang nilainya berkisar 3%, absorpsi sedang yaitu berkisar 3-5%, dan absorpsi tinggi yaitu berkisar 5%.

Pengujian Permeabilitas

Permeabilitas beton dapat diartikan sebagai kemampuan beton untuk mengalirkan air melalui pori-porinya (Mehta, 1986). Permeabilitas dapat diukur dengan menentukan tingkat aliran air yang melalui benda tersebut yang nilainya

dinyatakan sebagai koefisien permeabilitas k (cm/dt). Koefisien permeabilitas beton semakin kecil maka kekuatan beton semakin tinggi. Nilai koefisien permeabilitas beton menyatakan mudah tidaknya beton dilalui air. Koefisien permeabilitas semakin tinggi, maka beton semakin mudah dilalui air. Nilai koefisien permeabilitas dihitung dengan persamaan Darcy seperti terlihat pada persamaan (1):

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

dengan :

- A = luas penampang sampel beton (m²)
- $dq/(A dt)$ = debit aliran air (kg/cm³)
- dh = tinggi air jatuh (m)
- L = kedalaman penetrasi (m)
- k = koefisien permeabilitas (m/dt)

Serapan (Absorpsi)

Absorpsi merupakan besaran yang menunjukkan perbandingan antara berat sampel dalam keadaan kering dengan sampel yang terendam air. Nilai absorpsi merupakan salah satu indikator dari struktur yang berpori. Absorpsi merupakan proses masuknya air ke dalam beton melalui pori-pori. Menurut Levit (1984) dan (Concrete Society) terdapat 3 kategori absorpsi, yaitu absorpsi rendah yang nilainya berkisar 3%, absorpsi sedang yaitu berkisar 3-5%, dan absorpsi tinggi yaitu berkisar 5%. Nilai absorpsi beton menurut SNI 03-6433-2000 dapat dihitung dengan persamaan (2) :

$$\text{Absorpsi} = \frac{b-a}{a} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan : absorpsi = prosentase penyerapan air (%)

- b = berat beton setelah perendaman (kg)
- a = berat beton kering oven (kg)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium. Tahap awal, dilakukan pengujian terhadap bahan baku yang akan digunakan untuk membuat benda uji. Benda uji berupa beton silinder dengan ukuran 15cm x 30cm untuk pengujian absorpsi dan benda uji silinder berukuran 7,5cm x 15cm untuk benda uji permeabilitas. Benda uji berjumlah 14, untuk uji permeabilitas 6 buah silinder dan untuk uji serapan 8 buah silinder, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari. Data yang diperoleh akan diolah menggunakan program *Microsoft Excel*. (1)

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Permeabilitas

No	Jenis Air	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	Air laut	AL	3
2	Air tawar	AT	3

Tabel 2. Jumlah dan Kode Benda Uji Serapan

No	Jenis Air	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	Air laut	AL	4
5	Air tawar	AT	4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Kandungan zat organik	Kuning Muda	Kuning Tua	Memenuhi syarat
2	Kandungan lumpur	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,475 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,5gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,538 gr/cm ³	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	1,01%	-	-
7	Modulus Halus	2,5183	2,3-3,1	Memenuhi syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif(%)		
1	9,5	0	0,000	0,000	100,000	100
2	4,75	100	3,33	3,33	96,67	95-100
3	2,36	205	6,83	10,17	89,83	80-100
4	1,18	340	11,33	21,50	78,50	50-85
5	0,85	700	23,33	44,83	55,17	25-60
6	0,3	1035	34,5	79,33	26,67	10-30
7	0,15	400	13,33	92,67	7,33	2-10
8	0	220	7,33	100,000	0,000	0
	Jumlah	3000	100	351,83	448,17	

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,506 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2,548 gr/cm ³	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,615gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	1,67 %	-	-
Abrasi	48,08%	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus Butir	6,4080	5 - 8	Memenuhi syarat

Tabel 6. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No	DiameterAya- kan (mm)	Berat Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif(%)		
1	12,5 mm	0	0,00	0,00	100,00	90-100
2	9,5 mm	1430	47,83	47,83	52,17	40-70
3	4,75 mm	1350	45,15	92,98	7,02	0-15.
4	2,36 mm	190	6,35	100,00	0,00	0-5.
5	1.18 mm	0	0,00	100,00	0,00	0
6	0.6 mm	0	0,00	100,00	0,00	0
7	0.3 mm	0	0,00	100,00	0,00	0
8	0.15 mm	0	0,00	100,00	0,00	0
9	0 mm	0	0,00	100,00	0,00	0
	Jumlah	2970	100,00	740,803	179,19	-

Hasil Hitungan Rancang Campur(Mix Design) Adukan Beton

Hitungan rancang campuran adukan beton dilakukan dengan metode *trial error*. Dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan per 1 m³ yaitu :

- a. Agregat Halus = 662,26 kg
- b. Semen = 503,11 kg
- c. Agregat Kasar = 1033,00 kg
- d. Air Campuran Adukan = 161,34 kg
- e. *Superplasticizer* = 13,88 kg
- f. Abu Sekam Padi = 90,56 kg

Berdasarkan hitungan rancang campur yang telah dilakukan, mutu agregat yang digunakan pada pembuatan benda uji sudah memenuhi persyaratan disyaratkan menurut SK-SNI S-36-1990-03 pada Tabel 1.dan Tabel 2. halaman 4 dan 5. Kebutuhan agregat halus untuk pembuatan 1 m³ beton adalah 662,26 kg. BerdasarkanSK-SNI S-36-1990-03 kebutuhan pasir minimum untuk membuat beton kedap air adalah 520 kg/m³ untuk ukuran maksimum 10 mm, sehingga hasil perhitungan rancang

campur dapat digunakan untuk membuat beton kedap air. Berdasarkan SK-SNI S-36-1990-03 dapat dilihat bahwa kebutuhan minimum pasir meningkat sejalan dengan pengurangan ukuran maksimum pasir yang digunakan.Hal ini bisa terjadi karena pasir dan agregat halus lain bercampur dan berfungsi untuk menutup rongga yang tidak bisa dipenuhi oleh agregat kasar.

Kebutuhan semen yang digunakan pada rancang campur sudah memenuhi persyaratan beton kedap air.kebutuhan semen minimum apabila kondisi lingkungan berhubungan dengan air tawar adalah 300 kg/m³, sedangkan untuk kondisi lingkungan berhubungan dengan air laut kebutuhan semen minimum adalah 370 kg/m³. Berdasarkan persyaratan SK-SNI S-36-1990-03 tersebut, maka rancang campur telah memenuhi persyaratan dalam membuat beton kedap air.

Hasil Pengujian Slump Flow

Pengujian ini dulakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton ini.Nilai faktor air semen semakin rendah maka beton semakin sulit untuk dikerjakan.*Superplasticizer*digunakan pada pembuatan beton untuk meningkatkan nilai

workability. Kadar *superplasticizer* pada pembuatan benda uji adalah sebesar 2,8% dari kadar semen. Pengujian dilakukan dengan kerucut *Abrams* kecil dengan diameter atas 7,5 cm, diameter bawah 10,8 cm, dan tinggi 8. Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Tabel 7.

Hasil pengujian menunjukkan nilai *slump flow* dikategorikan sedang-tinggi menurut penelitian yang dilakukan oleh Pricillia dan Nabhan. Hal ini menunjukkan penggunaan *superplasticizer* pada rancang campur dapat mengurangi jumlah air, tetapi dengan *workability* tinggi.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Slump Flow*

No	Jenis Pengujian	Diameter Slum Flow (cm)	Workability
1	Permeabilitas	14	sedang-tinggi
2	Serapan	15	Sedang-tinggi

Tabel 8. Hasil Pengujian Viskositas Air

Jenis Air	Massa Air (gr)	Massa Jenis Air (gr / cm ³)	Viskositas Air (gr / cms)	Rata-rata (%)
Air Laut	25,57	1,0206939	0,013198139	0,01411875
	25,59	1,019449	0,014089793	
	25,59	1,020674	0,015068319	
	24,98	0,9971425	0,007957684	
Air Tawar	24,96	0,994351	0,007891313	0,007927569
	24,95	7,93.10 ⁻³	0,007933711	

Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan aliran atau rembesan air ke dalam beton. Kecepatan air yang masuk ke dalam beton semakin tinggi maka beton semakin rendah durabilitasnya.

Hasil Pengujian Viskositas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan zat cair, dalam hal ini yang diuji adalah air laut dan air tawar. Nilai penyerapan air ke dalam beton selain dipengaruhi jumlah pori, juga karena pengaruh kekentalan zat cair. Semakin kental zat cair yang digunakan maka kemampuan untuk melalui pori-pori dalam struktur beton juga semakin sulit. Hasil pengujian Viskositas terdapat pada tabel 8.

Pengujian permeabilitas ini dilakukan dengan tekanan air ;sebesar 1 kg/cm² selama 48 jam, dilanjutkan 3 kg/cm² selama 24 jam, dan dilanjutkan 7 kg/cm² selama 24 jam, penetrasi air ke dalam beton diukur dan disajikan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Permeabilitas.

Benda Uji	Penetrasi L (m)	Tinggi air awal, ho(m)	Tinggi air setelah 1 jam, hi(m)	Waktu pengujian, t (dt)	Diameter sebaran air, d(m)	Debit aliran dQ/dt (m ³ /dt)	Permeabilitas, k (m/s)	k rata-rata (m/s)
AT 1	0,017	0,7	0,678	3600	0,03	2,35.10 ⁻¹⁰	8,0802.10 ⁻⁹	5,6371.10 ⁻⁹
AT 2	0,015	0,7	0,675	3600	0,03	2,67. 10 ⁻¹⁰	8,1019. 10 ⁻⁹	
AT 3	0,015	0,7	0,696	3600	0,04	4,28. 10 ⁻¹⁰	7,2917. 10 ⁻⁹	
AL 1	0,022	0,7	0,677	3600	0,04	2,46. 10 ⁻¹⁰	6,1493. 10 ⁻⁹	5,8211.10 ⁻⁹
AL 2	0,025	0,7	0,69	3600	0,035	1,07. 10 ⁻¹⁰	3,9682. 10 ⁻⁹	
AL 3	0,017	0,7	0,68	3600	0,03	2,14. 10 ⁻¹⁰	7,3457. 10 ⁻⁹	

Berdasarkan SK-SNI S-36-1990-03 beton kedap air apabila nilai penetrasi yang terjadi ke dalam beton maksimal adalah 50 mm untuk air agresif sedang dan 40 mm untuk air agresif kuat. Air agresif sedang adalah air yang mengandung air limbah industri, air payau, air laut, sedangkan air agresif kuat adalah air yang mengandung garam-garam agresif minimal 1500 ppm. Berdasarkan hasil pengujian beton telah memenuhi beton kedap air baik agresif kuat ataupun agresif sedang. Menurut ACI 301-729 (revisi 1975) (dalam Neville dan Brooks, 1987) nilai koefisien permeabilitas maksimum adalah $1,5 \cdot 10^{-11}$ m/dt. Berdasarkan pengujian di atas diperoleh nilai permeabilitas rerata beton apabila diuji dengan air tawar adalah $5,6371 \cdot 10^{-9}$ dan air laut $5,8211 \cdot 10^{-9}$, sehingga beton belum bisa dikatakan beton kedap air menurut ACI 301-729 (revisi 1975).

Hasil Pengujian Serapan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai serapan air laut dan air tawar ke dalam beton. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan berat kering oven dengan berat setelah perendaman 10 + 0,5 menit dan 24 jam. Rumus

yang digunakan seperti pada persamaan (2). Hasil pengujian serapan air laut dan air tawar dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Berdasarkan hasil pengujian di atas dapat dilihat nilai serapan lebih besar terjadi pada air tawar. Menurut SK SNI S-36-1990-03 nilai serapan pada beton maksimum 2,5% berat kering oven untuk perendaman 10+0,5 menit, dan 6,5% berat kering oven untuk perendaman selama 24 jam, sehingga beton termasuk dalam beton kedap air. Nilai viskositas berpengaruh pada proses serapan pada beton. Hal ini dikarenakan nilai viskositas air laut lebih tinggi sehingga kondisi air lebih jenuh. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11. Berdasarkan hasil pengujian di atas dapat dilihat nilai serapan lebih besar terjadi pada air tawar. Menurut SK SNI S-36-1990-03 nilai serapan pada beton maksimum 2,5% berat kering oven untuk perendaman 10+0,5 menit, dan 6,5% berat kering oven untuk perendaman selama 24 jam, sehingga beton termasuk dalam beton kedap air. Nilai viskositas berpengaruh pada proses serapan pada beton. Hal ini dikarenakan nilai viskositas air laut lebih tinggi sehingga kondisi air lebih jenuh. Berdasarkan hasil pengujian tersebut

dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11 nilai serapan air tawar lebih tinggi dibandingkan dengan air laut, dan sangat terlihat jelas perbedaan nilai serapan setelah perendaman 24 jam.

peremeabilitas beton normal adalah $1,72455 \cdot 10^{-8} \text{ms}^{-1}$.

Tabel 10. Hasil Pengujian Serapan Perendaman 10 + 0,5 menit

No	Benda Uji	Berat Kering Oven (a) (kg)	Berat Setelah 10+0,5 menit (b) (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
1	AL 1	12,05	12,395	2,8630	1,1538
2	AL 2	11,6	11,8	1,7241	
3	AL 3	11,92	11,9233	0,0279	
4	AL 4	12	12	0	
5	AT 1	11,75	11,985	2	1,5971
6	AT 2	11,72	11,9	1,5358	
7	AT 3	11,8	11,945	1,2288	
8	AT 4	11,7	11,89	1,6239	

Tabel 11. Hasil Pengujian Serapan Perendaman 24 jam

No	Benda Uji	Berat Kering Oven (a) (kg)	Berat Setelah 24 jam (b) (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
1	AL 1	12,05	12,40	2,9046	1,9093
2	AL 2	11,6	11,9	2,586	
3	AL 3	11,92	12,06	1,1745	
4	AL 4	12	12,12	0,9722	
5	AT 1	11,75	12,14	3,3191	3,4003
6	AT 2	11,72	12,133	3,5267	
7	AT 3	11,8	12,15	2,9661	
8	AT 4	11,7	12,14	3,7891	

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian serta analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a) Nilai permeabilitas sampel diuji dengan menggunakan air laut adalah $5,8211 \cdot 10^{-9} \text{ms}^{-1}$, sedangkan diuji menggunakan air tawar adalah $5,6371 \cdot 10^{-9} \text{ms}^{-1}$. Berdasarkan penelitian sebelumnya nilai

- b).Nilai serapan sampel diuji dengan air laut adalah 1,1538% untuk rendaman 10 + 0,5 menit dan 1,6812% untuk rendaman 24 jam. Nilai serapan beton diuji dengan air tawar 1,5971% rendaman 10 + 0,5 menit dan 3,4003% untuk rendaman 24 jam. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya

nilai absorpsi beton normal yaitu sebesar 3,6888%

c). Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas dan serapan, penambahan abu sekam padi dapat mengurangi jumlah pori dalam beton, sehingga dapat mengurangi penetrasi air ke dalam beton.

REFERENSI

- Agus Maryoto. 2009. Penurunan Nilai Absorpsi dan Abrasi Betondengan Penambahan *Calcium Stearate* Dan *Fly Ash*. Media Teknik Sipil Vol. IX
- Castro-gomes, J.P. & Pereira de Oliveira, L. A. 2002. *Discussion of Aggregate and Concrete Water Absorption and Permeability testing Methodology*. Congress Paper. Coimbra, Portugal.
- Lamond, Joseph F. & Pielert, James H. 2006. *Significance of Test and Properties of Concrete (Concrete-Making Materials*. ASTM International, West Conchohocken, PA. Bridgeport, NJ.
- Medianto & Safitri. 2009. Kajian serapan dan penetrasi air laut pada beton ringan berserat aluminium Media Teknik Sipil.
- Nugroho, E.H. 2010. Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah *Fly Ash* untuk Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Spesifikasi Khusus Standar Nasional Indonesia (SNI) S-36-1990-03, "Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air", Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan LPMB. Bandung.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. Teknologi Beton, Nafitri. Yogyakarta.