
**DURABILITAS BETON YANG MENGANDUNG *FLY ASH*
UNTUK PERKERASAN KAKU (*RIGID PAVEMENT*)
YANG TAHAN TERHADAP AIR LAUT**

Hudallah Muhammad Fauzi
Alumni Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknik Sipil,
Universitas Sebelas Maret Surakarta
Email: Da_sal3@Yahoo.com

Abstrak

Permasalahan yang sering terjadi di kota dipesisir Pantai Utara adalah terjadinya banjir rob yang disebabkan penurunan muka tanah, terutama pada saat terjadinya pasang air laut. Jalan dengan struktur perkerasan kaku jika terendam air rob dapat mempercepat kerusakan beton, karena air rob dapat mengurangi kekuatan beton dan penurunan durabilitas beton. Untuk itu diperlukan penelitian untuk memperkuat struktur perkerasan kaku dengan menggunakan *fly ash*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan benda uji berbentuk silinder, kubus dan balok dengan 3 buah benda uji untuk masing-masing perlakuan dan dengan dengan kadar *fly ash* 0%, 10 %, 20%, dan 30 %. Untuk pengujian, dilakukan setelah beton berumur 28 hari untuk kondisi normal, dan setelah beton berumur 28 hari, direndam air laut selama 13 hari untuk pengujian pengaruh beton terhadap air laut. Dari hasil pengujian, diketahui penambahan kadar *fly ash* yang optimum sebesar 10 %, Sedangkan makin banyak kadar *fly ash* maka nilai permeabilitas dan porositas beton makin kecil untuk semua kondisi perendaman

Kata Kunci : Perkerasan kaku, air laut, *fly ash*, kekuatan beton, durabilitas beton

Abstract

Amongst problems that often occur in urban coastal area of North Beach is flood or what so-called locally *rob* especially in the time of tide. If *rob* happens, most of them are submerged under the sea water, whereas, the latter can accelerate the damage of concrete and reduce its strength and durability.

This research aims to find how to maintain the strength of the rigid pavement structure despite that condition. The solution promoted here is adding fly ash in to the concrete. The method used in this research is experimental one, employing some specimens of concrete in many shapes, namely; cylinder, cubes and blocks in to which the fly ash is added in various level (0%, 10%, 20%, and 30%).

The test is conducted in two steps. The first is testing the concrete after being 28 day old without being submerged under the sea water. The second is testing it for 13 days in the state of being submerged to test the influence of seawater to the concrete. The experiments lead the researcher to a fact that adding fly ash into concrete can strengthen it, and the higher level of fly ash added, the less level of permeability and porosity of concrete.

Keywords: *rigid pavement, sea water, fly ash, concrete strength, concrete durability*

LATAR BELAKANG

Sebagai prasarana perhubungan darat, jalan mempunyai peranan yang sangat penting dalam mewujudkan sasaran pembangunan, supaya pembangunan dan hasil-hasilnya dapat didistribusikan dengan cepat dan menyebar sehingga pemerataan disegala bidang cepat tercapai. Seiring dengan laju Pertumbuhan dan perkembangan

suatu kota, telah menyebabkan perubahan pada kondisi fisik kota, yaitu perubahan guna lahan.

Hal itu tentu saja menimbulkan permasalahan tersendiri pada Kota tersebut. Semakin besar suatu kota, maka semakin besar atau kompleks permasalahan yang ditimbulkan dan hadapinya, misalnya Kota Semarang yang terletak pada pesisir Pantai

Utara ataupun daerah-daerah lain yang terletak pada pesisir Pantai Utara. Kota Semarang dalam beberapa di tahun terakhir ini menghadapi permasalahan banjir. Perkembangan lahan terbangun suatu kota diakibatkan oleh jumlah penduduk dan kegiatan-kegiatan kota meningkatkan kebutuhan terhadap air tanah.

Kedua fenomena tersebut menimbulkan kecenderungan perubahan daya dukung sumber daya air tanah, sedangkan di pihak lain terjadi penurunan volume/debit pengisian kembali air tanah. Selain itu penyadapan/pengambilan air tanah secara besar-besaran tanpa diimbangi dengan pengisian kembali air tanah yang seimbang menyebabkan penurunan muka air tanah. Penurunan muka air tanah ini dapat menyebabkan amblesnya permukaan tanah dan intrusi air laut. Pemompaan air tanah yang berlebihan tanpa memperhatikan kemampuan pengisian kembali dapat mengakibatkan penurunan muka air tanah (Kodoatie, 1995).

Permasalahan tersebut mengakibatkan terjadinya banjir rob dimana penurunan muka tanah mengakibatkan permukaan air laut lebih tinggi dari permukaan tanah, sehingga walaupun tidak terjadi hujan maka daerah tersebut akan mengalami banjir, terutama jika sedang terjadinya pasang air laut. kejadian ini dikenal dengan banjir pasang air laut (rob).

Adanya air laut dapat mempercepat kerusakan beton, karena banyak mengandung larutan garam, sekitar 78 % sodium chlorida (NaCl) dan 15 % magnesium sulfat ($MgSO_4$), sehingga dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20 % dan penurunan durabilitas konstruksi yang dibangun (Agustini, Wahyu, Skripsi Thesis UMS, 2008).

Perkerasan jalan akan mengalami kerusakan setelah menjalani masa pelayanan tertentu. Dimana jenis-jenis kerusakan itu dapat digolongkan menjadi 2 macam yaitu Kerusakan struktural dan kerusakan fungsional.

Penyebab kerusakan perkerasan jalan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a) Faktor lalu lintas ; dimana beban kendaraan, distribusi beban kendaraan pada lebar perkerasan, pengulangan beban lalu lintas, dll.

b) Faktor non lalu lintas ; bahan perkerasan, pelaksanaan pekerjaan, perencanaan, lingkungan (cuaca), pengaruh adanya air akan mempercepat kerusakan

Dewasa ini penggunaan beton sebagai salah satu pilihan konstruksi pada perkerasan jalan beton semen Portland atau biasa disebut perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang terdiri dari plat beton semen portland dan lapis pondasi diatas tanah dasar.

Beton yang baik adalah beton dengan kekedapan yang tinggi. Kekedapan adalah tidak dapat dilewati air, sedangkan permeabilitas adalah kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton (A.M. Neville & J.J. Brooks, 1987). Beton tidak bisa kedap air secara sempurna (L.J. Murdock & K.m. Brook, 1991).

Beton dengan agregat normal, kekedapannya tergantung pada porositas pasta semen tetapi hubungan suatu faktor distribusi ukuran pori bukanlah suatu fungsi yang sederhana (A.M. Neville & J.J. Brooks, 1987)

Bahan tambahan mineral pembantu saat ini banyak ditambahkan kedalam campuran beton dengan tujuan untuk mengurangi pemakaian semen, mengurangi *bleeding* atau menambah kelecekan pada beton. Mineral pembantu umumnya mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air, mineral tersebut dapat berupa material alam maupun yang didapat dari sisa industri.

Tingkat pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton (Rony Ardiansyah, IP-U Dosen Teknik sipil UIR, 2010).

Abu terbang, yang merupakan limbah selama ini belum termanfaatkan secara optimal, sehingga bisa menimbulkan masalah lingkungan . Oleh karena itu perlu upaya pemanfaatan limbah abu terbang, yang dalam penelitian ini dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada beton, untuk mengurangi pemakaian semen pada adukan beton tanpa

mengurangi mutu beton (kuat tekan beton) dan untuk menambah kekedapan beton terhadap air.

METODE PENELITIAN

Metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mendapatkan hasil ataupun data-data yang akan menegaskan hubungan antara variabel-variabel yang akan diselidiki sedangkan teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder yang dikarenakan bahan dan sumber yang sama.

- Bahan dan Peralatan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Lab. Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret solo.

- Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : Agregat halus, Agregat kasar, Semen potland tipe I, *Fly ash* yang berasal dari sisa bakar batu bara pada PLTU Tanjung Pati, Jepara, Indonesia yang diperoleh dari PT. Jaya Readymix solo Plant, dan Air yang digunakan mengacu pada PBI 1971 Bab 3.6

- Peralatan

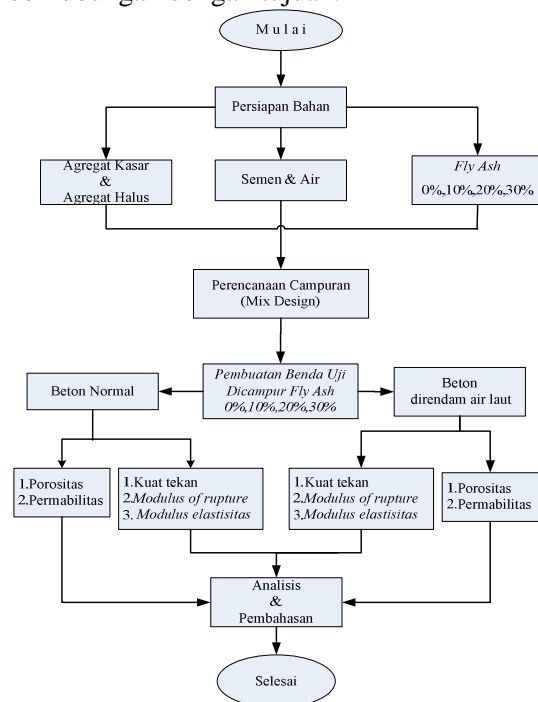
Penelitian ini menggunakan peralatan Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Meret Surakarta.

Tahapan dan Prosedur Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, maka penelitian ini harus dilaksanakan dalam sistematika dan urutan yang jelas dan teratur sehingga nantinya diperoleh hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap, antara lain :

Disebut tahap survey berupa tanya jawab kepada penduduk yang terkena dampak langsung air rob tentang lamanya terjadi air rob selama satu bulan dengan hasil lamanya terjadi banjir rob selama 300 jam atau 13 hari yang akan menjadi dasar lamanya perendaman sehingga bisa mendekati kondisi sebenarnya pada lokasi

dampak air rob tersebut, tahap persiapan seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian, tahap uji bahan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut, tahap pembuatan benda uji, tahap perawatan (*curing*) terhadap benda uji yang telah dibuat, tahap pengujian Kekuatan dan durabilitas beton, tahap analisa data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisa untuk mendapatkan suatu kesimpulan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti dalam penelitian dan yang terakhir adalah tahap pengambilan kesimpulan dari data yang telah dianalisis dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sampel beton dilakukan pada dua kondisi setelah benda uji berumur 28 hari. Dimana kondisi yang pertama direndam didalam air tawar (normal) sehingga mencapai umur 28 hari kemudian diuji, sedangkan kondisi kedua setelah umur benda uji 28 hari kemudian direndam didalam air laut selama 13 hari setelah itu dilakukan pengujian.

Hasil Pengujian Mekanik Uji Kuat Tekan (f'c)

Alat uji yang digunakan adalah *Compression Testing Machine* untuk

mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{max}). Dari data pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dapat diperoleh kuat tekan maksimum beton. Sebagai contoh perhitungan kuat tekan beton diambil data dari uji beton K 350 dengan campuran *fly ash* 0 % dengan kondisi setelah direndam air tawar (normal) :

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

$$P_{max} = 620 \text{ kN} = 620000 \text{ N}$$

$$A = 0,25 \times \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 150^2 \text{ mm}^2$$

$$= 17671,46 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = \frac{620000}{17671,46} = 35,08 \text{ Mpa}$$

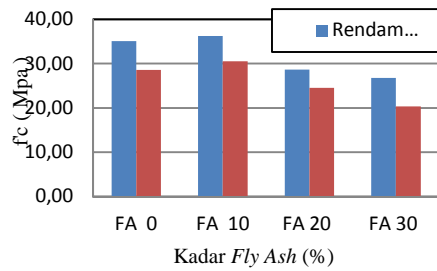
Hasil pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm umur 28 hari selengkapnya disajikan pada Tabel 3 :

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari Kondisi Rendaman Air Tawar (Normal)

No	Kadar Fly Ash		Vol.	Berat	P	f'c
			(cm3)	(kg)	(N)	(Mpa)
1	FA 0%	A	5301.44	12.10	620000	35.08
2		B	5301.44	12.10	630000	35.65
3		C	5301.44	12.12	610000	34.52
Rata-rata						35.08
1	FA 10%	A	5301.44	12	640000	36.22
2		B	5301.44	12.1	630000	35.65
3		C	5301.44	12	650000	36.78
Rata-rata						36.22
1	FA 20%	A	5301.44	12.11	550000	31.12
2		B	5301.44	12.15	540000	30.56
3		C	5301.44	12.12	520000	29.43
Rata-rata						30.37
1	FA 30%	A	5301.44	12.17	450000	25.46
2		B	5301.44	12.13	460000	26.03
3		C	5301.44	12.12	510000	28.86
Rata-rata						26.79

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kondisi Rendaman Air Laut

No	Kadar Fly Ash		Vol.	Berat	P	f'c
			(cm3)	(kg)	(N)	(Mpa)
1	FA 0%	A	5301.44	12	500000	28.29
2		B	5301.44	12	510000	28.86
3		C	5301.44	12	490000	27.73
Rata-rata						28.29
1	FA 10%	A	5301.44	12.50	550000	31.12
2		B	5301.44	12.51	540000	30.56
3		C	5301.44	12.51	530000	29.99
Rata-rata						30.56
1	FA 20%	A	5301.44	12.49	400000	22.64
2		B	5301.44	12.50	450000	25.46
3		C	5301.44	12.50	450000	25.46
Rata-rata						24.52
1	FA 30%	A	5301.44	12.51	370000	20.94
2		B	5301.44	12.5	350000	19.81
3		C	5301.44	12.5	360000	20.37
Rata-rata						20.37



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Perbandingan Kadar Fly Ash, Rendam Normal, Rendam Air Laut

Tabel 5. Hasil Analisis Pengujian Kuat Tekan Air Tawar (Normal)

Kadar Fly Ash (%)	Nilai Kuat Tekan MPa	Perubahan Nilai Kuat Tekan (%)
0%	35.08	0
10%	36.22	3.22
20%	28.67	-18.28
30%	26.79	-23.66

Tabel 6. Hasil Analisis Pengujian Kuat Tekan Rendaman Air Laut

Kadar Fly Ash (%)	Nilai Kuat Tekan MPa	Perubahan Nilai Kuat Tekan (%)
0%	28.29	0
10%	30.56	6.93
20%	24.52	-14.19
30%	20.37	-28.71

Hasil Uji Modulus of Rupture (MoR)

Dengan menggunakan alat uji kuat lentur, untuk mendapatkan MoR maksimum. Dari data pengujian MoR beton pada benda uji balok dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm dapat diperoleh kuat lentur maksimum beton. Sebagai contoh perhitungan MoR beton diambil data dari uji beton K 350 dengan campuran Fly Ash 0 % dengan kondisi setelah direndam air tawar (normal) :

$$f_r = \frac{P \times l}{(b \times d^2)} \dots\dots\dots(2)$$

$P_{max} = 19 \text{ kN} = 19000 \text{ N}$
 $b = 150 \text{ mm}, d = 150 \text{ mm}, l = 600 \text{ mm}$
 $f_r = \frac{19000 \times 600}{(150 \times 150^2)} = 3,38 \text{ Mpa}$

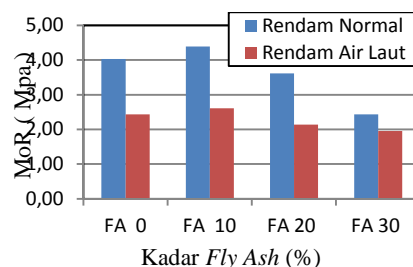
Hasil pengujian MoR beton dengan benda uji balok dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm umur 28 hari dengan dua jenis kondisi selengkapnya disajikan pada Tabel 7 dan 8 :

Tabel 7. Hasil Pengujian MoR Beton Umur 28 Hari Kondisi Rendaman Air Tawar (Normal)

No	Kadar Fly Ash	Vol. (cm3)		P (N)	MoR (Mpa)
		A	B		
1	0	A	13500	19000	4.44
2		B	13500	21000	3.91
3		C	13500	18500	3.73
Rata-rata					4.03
1	10	A	13500	18000	4.44
2		B	13500	15000	4.44
3		C	13500	16000	4.27
Rata-rata					4.39
1	20	A	13500	19000	3.73
2		B	13500	20000	3.56
3		C	13500	20000	3.56
Rata-rata					3.61
1	30	A	13500	11000	2.13
2		B	13500	9000	2.66
3		C	13500	14000	2.49
Rata-rata					2.43

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus of Rupture Beton Rendaman Air Laut

No	Kadar Fly Ash	Vol. (cm3)		P (N)	MoR (Mpa)
		A	B		
1	0	A	13500	14000	2.49
2		B	13500	14000	2.49
3		C	13500	13000	2.31
Rata-rata					2.43
1	10	A	13500	14000	2.49
2		B	13500	15000	2.67
3		C	13500	15000	2.67
Rata-rata					2.61
1	20	A	13500	13000	2.31
2		B	13500	12000	2.13
3		C	13500	11000	1.96
Rata-rata					2.13
1	30	A	13500	10000	1.78
2		B	13500	11000	1.96
3		C	13500	12000	2.13
Rata-rata					1.96



Gambar 3. Grafik Modulus of Rupture Perbandingan Kadar Fly Ash, Rendam Normal, Rendam Air Laut

Tabel 9. Hasil Analisis Pengujian *Modulus of Rupture* Rendam Air Tawar (Normal)

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Nilai <i>MoR</i> (Mpa)	Perubahan Nilai <i>MoR</i> (%)
0%	4.03	0
10%	4.39	8.82
20%	3.61	-10.29
30%	2.43	-39.70

Tabel 10. Hasil Analisis Pengujian *Modulus of Rupture* Rendam Air Laut

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Nilai <i>MoR</i> (Mpa)	Perubahan Nilai <i>MoR</i> (%)
0%	2.43	0
10%	2.61	7.32
20%	2.13	-12.2
30%	1.96	-19.51

Hasil Uji *Modulus Elastisitas* (MoE)

Pengujian dilakukan pada benda uji silinder beton dengan menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*) dengan pembebanan secara konstan untuk mengetahui besar beban yang diterima sampai dengan beban maksimum (saat beton mulai retak) dan *extensometer* untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi sehingga dapat diketahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap pembebanan dengan persamaan-persamaan : Menghitung regangan yang terjadi dengan Persamaan :

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :

- Δl = Penurunan arah longitudinal
- l = Tinggi beton relatif (jarak antar dua *ring dial*) = 195 mm
- $\times 10^{-3}$ = Konversi satuan *dial extensometer* dari μm ke mm

Menghitung tegangan yang terjadi dengan Persamaan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :

- σ = Tegangan (MPa)
- P = Beban yang diberikan (N)
- A = Luas tampang melintang (mm^2)

Sebagai contoh perhitungan kuat tekan beton diambil data dari uji beton K 350 dengan campuran *fly ash* 0 % dengan kondisi setelah direndam air tawar (normal) pada saat menerima beban $P = 20 \text{ KN}$ sebagai berikut:

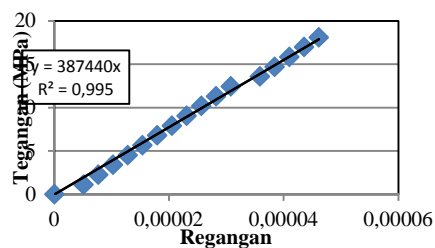
- Menghitung regangan yang terjadi

$$\epsilon = \frac{9}{195} \times 10^{-3} = 0.0000513$$

- Menghitung tegangan (σ) yang terjadi :

$$\sigma = \frac{20000}{0.25 \times \pi \times 150^2} \text{ N / mm}^2 = 1.1317685 \text{ Mpa}$$

Kurva tegangan-regangan diperoleh dengan memplotkan data tegangan pada setiap kenaikan 20 kN beban aksial dengan regangan yang terjadi pada setiap benda uji. Dengan analisa regresi pada program *Microsoft excel*, didapatkan grafik tegangan-regangan dan persamaan regresi linier. Nilai MoE beton didapat dari kemiringan suatu garis lurus (linier) yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar 40% f_c').Sebelum mendapatkan nilai persamaan regresi linier, terlebih dahulu dibuat kurva regresi *polynomial* orde-2 dari nilai tegangan-regangan. Garis regresi linier diambil mulai dari nilai tegangan-regangan nol sampai terlihat kurva regresi *polynomial* mulai melengkung .seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 4. Hubungan tegangan-regangan benda uji FA 0% - Normal.

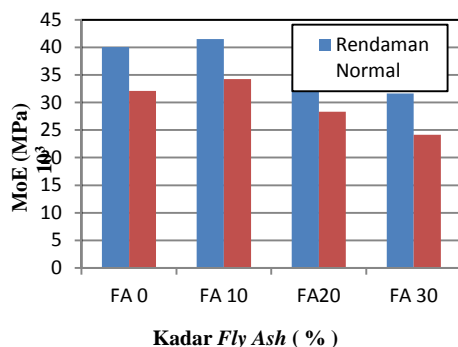
Selanjutnya dari persamaan regresi linier seperti terlihat pada Gambar 4.5 dapat dihitung nilai modulus elastisitas. Hasil perhitungan selanjutnya disajikan pada Tabel 11 dimana mencantumkan nilai modulus elastisitas beton dari perhitungan untuk setiap variasi dan kondisi

Tabel 11. Hasil Perhitungan MoE Rendaman Air Tawar (Normal)

No.	Kadar Fly Ash	Ec Perhitungan (MPa)	Ec Perhitungan Rata-rata (MPa) 10 ³	SNI (MPa) 10 ³	E Validasi ACI (MPa) 10 ³
1	FA 0%	A	38744	27.83	31.15
2		B	39746		
3		C	41775		
1	FA 10%	A	42639	29.15	29.34
2		B	41420		
3		C	40495		
1	FA 20%	A	33865	31.82	32.02
2		B	34130		
3		C	32839		
1	FA 30%	A	32814	28.94	29.12
2		B	29278		
3		C	32839		

Tabel 12. Hasil Perhitungan MoE Rendaman Air Laut

No.	Kadar Fly Ash	Ec Perhitungan (MPa)	Ec Perhitungan Rata-rata (MPa) 10 ³	SNI (MPa) 10 ³	E Validasi ACI (MPa) 10 ³
1	FA 0%	A	32298	25.00	25.16
2		B	32305		
3		C	31652		
1	FA 10%	A	34833	25.98	26.15
2		B	33825		
3		C	34138		
1	FA 20%	A	28523	23.27	23.42
2		B	28086		
3		C	23349		
1	FA 30%	A	24266	21.21	21.35
2		B	24829		
3		C	23349		



Gambar 5. Grafik MoE Perbandingan Kadar Fly Ash, Rendam Normal, Rendam Air Laut

Tabel 13. Hasil Analisis Pengujian MoE Rendam Air Tawar (Normal)

Kadar Penggantian Semen (%)	Nilai MoE (MPa)	Perubahan Nilai MoE (%)
0%	40.09	0
10%	41.52	3.57
20%	33.99	-15.19
30%	31.64	-21.06

Tabel 14. Hasil Analisis Pengujian MoE Rendam Air laut

Kadar Penggantian Semen (%)	Nilai Mo E (MPa)	Perubahan Nilai Mo E (%)
0%	32.08	0
10%	34.26	6.79
20%	28.30	-11.78
30%	24.15	-24.74

Hubungan Antara MoE dan f'c Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian diketahui bahwa peningkatan modulus elastisitas diikuti pula dengan peningkatan kuat tekan sehingga dapat dicari rumus empiris hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan hasil penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 15 :

Tabel 15. Data f'c Dan MoE Perhitungan Rendaman Air Tawar (Normal)

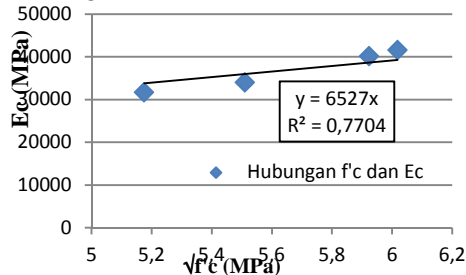
No	Benda Uji	f'c rata-rata (MPa)	√f'c (MPa)	Ec perhitungan Rata-rata 10 ³ (MPa)
1	FA 0%	35.08	5.92	40.09
2	FA 10%	36.21	6.01	41.52
3	FA 20%	30.36	5.51	33.99
4	FA 30%	26.78	5.17	31.64

Tabel 16. Data f'c Dan MoE Perhitungan Rendaman Air Laut

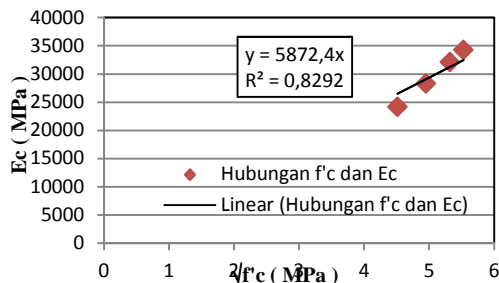
No	Kode Benda Uji	f'c rata-rata (MPa)	√f'c (MPa)	Ec perhitungan Rata-rata 10 ³ (MPa)
1	FA 0%	28.29	5.32	32.08
2	FA 10%	30.56	5.53	34.26
3	FA 20%	24.52	4.95	28.30
4	FA 30%	20.37	4.51	24.15

Dengan memasukkan data $\sqrt{f'c}$ dan modulus elastisitas dari Tabel 15 untuk kondisi rendaman normal dan Tabel 16. untuk kondisis rendaman air laut ke dalam analisa regresi pada program *Microsoft excel*,

didapatkan grafik hubungan $\sqrt{f'c}$ dan E_c serta persamaan regresi *Linier* untuk masing – masing kondisi rendaman



Gambar 6. Grafik Hubungan MoE dan $f'c$ Beton Rendaman Air Tawar (Normal)



Gambar 7. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Dan Kuat Tekan Beton Rendaman Air Laut

Dari grafik dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada kondisi rendaman air tawar (normal) memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 6527 \sqrt{f'c}^2$$

(Rumus empiris hasil regresi linier dari grafik)

Dan hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada kondisi rendaman air laut memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 5872 \sqrt{f'c}^2$$

(Rumus empiris hasil regresi linier dari grafik)

Sedangkan hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan dalam beton memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4730 \cdot \sqrt{f'c} \text{ (ACI 318-89, Revised 1992, 1996)}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c} \text{ (SK SNI-T-15-1991)}$$

Dengan :

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

$f'c$ = Kuat tekan (MPa)

Hasil Pengujian Durabilitas Beton

Hasil Uji Permeabilitas Beton

Berdasarkan SK SNI S-36-1990-03 yang dimaksud dengan beton kedap air adalah beton yang tidak tembus air dan harus memenuhi ketentuan minimum beton kedap air agresif, bila diuji dengan tekanan air, maka tembusnya air ke dalam beton tidak melebihi batas

Agresif sedang : 50 mm, Agresif kuat : 40 mm

Tabel 17. Hasil Pengujian Penetrasi Rendaman Air Tawar (Normal)

No	Kadar FA (%)	Air dlm selang		Penuru-nan air setelah 1 Jam (mm)	Tinggi air jatuh (mm)	Diameter Resapan (mm)	Keda-laman Penetrasi (mm)
		Awal (mm)	Akhir (mm)				
1	0	A	700	685	25	700	25
2		B	700	680	25	700	25
3		C	700	685	20	700	22
Rata-rata							23.3
1	10	A	700	665	25	700	25
2		B	700	680	25	700	25
3		C	700	685	20	700	25
Rata-rata							23.3
1	20	A	700	670	20	700	20
2		B	700	670	20	700	20
3		C	700	690	20	700	20
Rata-rata							20
1	30	A	700	680	20	700	30
2		B	700	675	20	700	25
3		C	700	665	20	700	20
Rata-rata							25

Tabel 18. Hasil Pengujian Penetrasi Rendaman Air Laut

No	Kadar FA (%)	Air dlm selang		Penurunan air setelah 1 Jam (mm)	Tinggi air jatuh (mm)	Diameter Resapan (mm)	Kedalaman Penetrasi (mm)
		Awal (mm)	Akhir (mm)				
1	0	A	700	685	15	700	15
2		B	700	680	15	700	15
3		C	700	685	15	700	15
Rata-rata							15
1	10	A	700	665	20	700	20
2		B	700	680	25	700	25
3		C	700	685	25	700	25
Rata-rata							23.3
1	20	A	700	670	3	700	30
2		B	700	670	35	700	35
3		C	700	690	30	700	30
Rata-rata							15
1	30	A	700	680	50	700	50
2		B	700	675	50	700	50
3		C	700	665	50	700	45
Rata-rata							41.7

Nilai permeabilitas beton dapat dihitung sebagai berikut dengan benda uji FA 0 % Rendaman normal umur 28 hari sebagai contoh perhitungan :

Diameter Selang = 0,8 cm = 0,008 m
 Waktu Aliran = 1 Jam = 3600 detik

Koefesien perhitungan koefesien permeabilitas beton adalah :

$$dQ = 0,025 \times \pi \times 0,008^2 \times 0,025 = 3,14 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$A = 0,020 \times \pi \times 0,020^2 = 0,00314 \text{ m}^2$$

$$k = \left(\frac{1}{0,00314} \right) \left(\frac{3,14 \cdot 10^{-8}}{3600} \right) \left(\frac{0,07}{0,020} \right) = 7,77 \cdot 10^{-7}$$

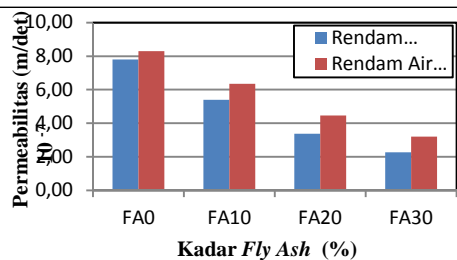
Hasil perhitungan selanjutnya disajikan pada Tabel 19 dan Tabel 20 dimana mencantumkan nilai Permeabilitas beton dari perhitungan untuk setiap variasi dan kondisi:

Tabel 19. Hasil Perhitungan Permeabilitas Rendaman Normal

No	Kadar FA (%)	A	dQ	Koefesien Permeabilitas (m/dt) 10 ⁻⁷	
					10 ⁻⁴ (cm ²)
1	F	A	3.14	3.14	7.78
2		B	3.14	3.14	7.78
Rata-rata					7.78
1	F	A	4.91	3.14	6.22
2		B	4.91	3.14	4.98
3	10	C	3.14	2.01	4.98
Rata-rata					5.39
1	F	A	4.91	2.01	3.19
2		B	4.91	2.01	3.19
3	20	C	4.15	2.01	3.76
Rata-rata					3.38
1	F	A	7.06	2.01	1.84
2		B	7.06	2.01	2.21
3	30	C	7.06	2.01	2.76
Rata-rata					2.27

Tabel 20. Hasil Perhitungan Permeabilitas Rendaman Air Laut

No	Kadar FA (%)	A	dQ	Koefesien Permeabilitas (m/dt) 10 ⁻⁷	
					10 ⁻⁴ (cm ²)
1	F	A	1.77	1.13	8.3
2		B	1.77	1.13	8.3
3	0	C	1.77	1.13	8.3
Rata-rata					8.3
1	F	A	3.14	2.01	6.22
2		B	3.8	3.14	6.43
3	10	C	3.8	3.14	6.43
Rata-rata					6.36
1	F	A	12.56	4.52	4.67
2		B	15.9	6.15	5.02
3	20	C	15.9	4.52	3.69
Rata-rata					4.46
1	F	A	19.62	0.13	3.11
2		B	19.62	0.13	3.11
3	30	C	15.9	0.13	3.41
Rata-rata					3.21



Gambar 8. Grafik Permeabilitas Perbandingan Kadar Fly Ash, Rendam Normal, Rendam Air Laut

Tabel 22. Hasil Analisis Pengujian Permeabilitas Rendam Air Laut

Kadar Penggantian Semen (%)	Nilai Permeabilitas 10 ⁻⁷ (m/dt)	Perubahan Nilai Permeabilitas (%)
0%	8.3	0
10%	6.36	-23.37
20%	4.46	-46.26
30%	3.21	-61.32

Tabel 21. Hasil Analisis Pengujian Permeabilitas Rendam Normal

Kadar Penggantian Semen (%)	Nilai Permeabilitas 10 ⁻⁷ (m/dt)	Perubahan Nilai Permeabilitas (%)
0%	7.8	0
10%	5.39	-30.9
20%	3.38	-56.67
30%	2.27	-70.9

Hasil Uji Porositas Beton

Pengujian ini untuk mengetahui besarnya porositas beton. Ketiga benda uji ditimbang beratnya kondisi kering oven (C), dalam air (A), dan kondisi SSD (B) kemudian dicatat hasilnya sesuai dengan hasil penimbangan. Besarnya porositas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \cdot 100\% \dots\dots\dots (5)$$

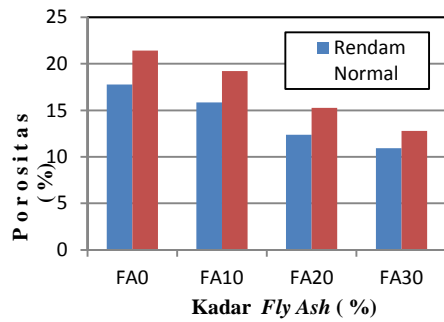
Dari pengujian pada tiap-tiap variasi beton diperoleh nilai porositas yang disajikan dalam Tabel 23 dan Tabel 24 :

Tabel 23. Hasil Pengujian Porositas Rendam Normal

Benda Uji (%)	Kering Oven (gr)	Berat Beton dalam Air (gr)	Kondisi SSD (gr)	Nilai Porositas (%)	Porositas Rata-rata (%)
FA 0	A	285	310	16.89	17.79
	B	280	305	17.24	
	C	290	320	19.23	
FA 10	A	275	295.5	14.59	15.87
	B	270	290.5	15.71	
	C	265	290	17.30	
FA 20	A	340	360	12.12	12.37
	B	330	350	12.5	
	C	335	355	12.5	
FA 30	A	295	315	11.46	10.93
	B	310	330	10.81	
	C	315	335	10.53	

Tabel 24. Hasil Pengujian Porositas Rendam Air Laut

Kode Benda Uji (%)	Kering Oven (gr)	Berat Beton dlm Air (gr)	Kondisi SSD (gr)	Nilai Porositas (%)	Porositas Rata-rata (%)
FA 0	A	270	298	22.95	21.42
	B	270	295	20.66	
	C	274	300	20.63	
FA 10	A	260	286	20.31	19.23
	B	258	280	18.03	
	C	254	278	19.35	
FA 20	A	250	268	15.25	15.25
	B	252	270	15.25	
FA 30	A	248	262	12.28	12.78
	B	250	264	12.28	
	C	252	268	13.793	



Gambar 9. Grafik Porositas Perbandingan Kadar Fly Ash, Rendam Normal, Rendam Air Laut

Tabel 25. Hasil Analisis Pengujian Porositas Rendaman Air Tawar (Normal)

Kadar Penggantian Semen (%)	Nilai Porositas (%)	Perubahan Nilai Porositas (%)
0%	17.79	0
10%	15.87	-10.80
20%	12.37	-30.44
30%	10.93	-38.54

Tabel 26. Hasil Analisis Pengujian Porositas Rendaman Air Laut

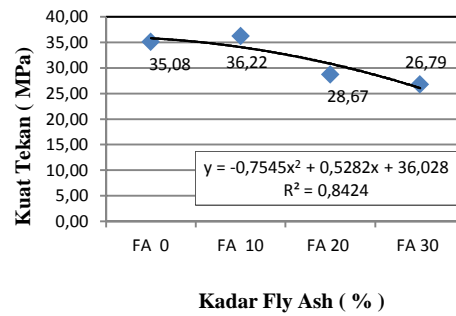
Kadar Penggantian Semen (%)	Nilai Porositas (%)	Perubahan Nilai Porositas (%)
0%	21.42	0
10%	19.23	-10.19
20%	15.25	-28.77
30%	12.78	-40.30

Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kekuatan Dan Durabilitas Beton Untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kekuatan Beton

Kuat Tekan

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan fly ash terhadap kuat tekan dibuat grafik perbandingan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan :



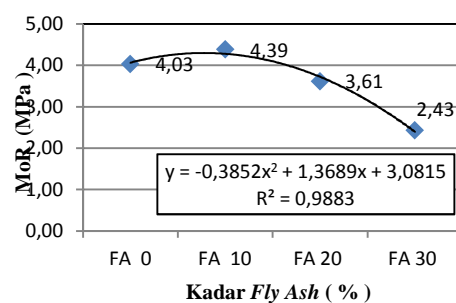
Gambar 10. Grafik Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan

Dari Gambar 10, beton dengan kadar fly ash 10 % meningkat nilai kuat tekannya dibandingkan dengan beton normal (Fly Ash 0%), tetapi beton dengan kadar fly ash 20%, dan 30% lebih kecil nilai kuat tekannya. Hal ini mengindikasikan penambahan flyash10% bisa meningkatkan kuat tekan beton sebesar 3.23 % dibandingkan beton dengan kadar fly ash 0%.

Dengan rumus empiris:
 Kuat Tekan = - 0.754 (FA)² + 0.528 (FA) + 36.02
 (Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Modulus of Rupture (MoR)

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan fly ash terhadap MoR dibuat grafik perbandingan dari hasil penelitian:



Gambar 11. Grafik Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap MoR

Pada gambar 11, penambahan kadar fly ash 10% bisa meningkatkan MoR dibandingkan beton dengan kadar fly ash 0% sebesar 8.82 %.

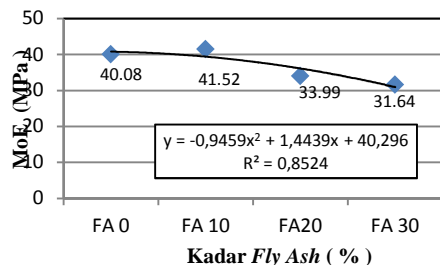
Menurut pendapat Suryawan (2005) kuat lentur tidak boleh kurang dari 45 kg/cm² dan menurut SNI 1991 sebesar 3,78 Mpa.

Berarti dalam penelitian ini hanya beton dengan kadar *Fly Ash* 0% dan 10% saja yang sesuai dengan SNI 1991.

Dengan rumus empiris :
 $MoR = -0.385 (FA)^2 + 1.368 (FA) + 3.081$
 (Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Modulus Elastisitas

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap *Modulus Elastisitas* dibuat grafik perbandingan :



Gambar 12. Grafik Pengaruh Kadar *Fly Ash* terhadap *Modulus Elastisitas*

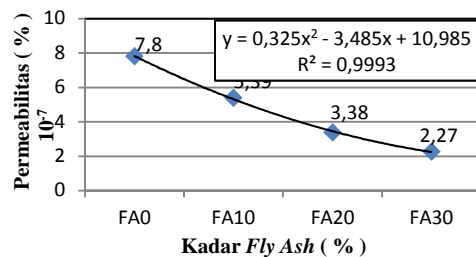
Dari Gambar 12, menunjukan bahwa penambahan *fly ash* 10 % bisa meningkatkan *Modulus Elastisitas* beton sebesar 3.57 % dibandingkan dengan beton kadar *fly ash* 0%. Dengan rumus empiris :

$Modulus Elastisitas = -0.945 (FA)^2 + 1.443 (FA) + 40.29$
 (Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Pengaruh Kadar *Fly Ash* Terhadap Durabilitas Beton

Permeabilitas

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap nilai Permeabilitas beton dibuat grafik perbandingan :



Gambar 13. Grafik Pengaruh Kadar *Fly Ash* terhadap Permeabilitas

Pada Gambar 13, menunjukkan makin besar kadar *fly ash* makin turun nilai permeabilitas beton, yang mengindikasikan makin tinggi kadar *fly ash* beton tersebut makin kedap air. Dengan rumus empiris :

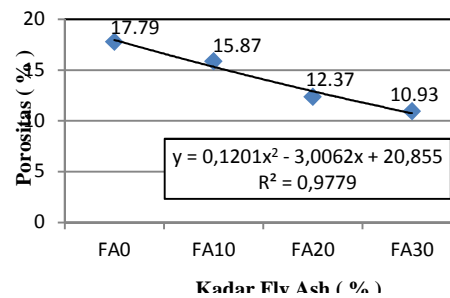
$Permeabilitas = 0.325 (FA)^2 - 3.485 (FA) + 10.98$

(Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Tetapi pada penambahan *fly ash* tertentu akan mencapai titik optimal sehingga nilai permeabilitas beton akan kembali naik. Pada penelitian yang lain titik optimal penambahan *fly ash* diketahui antara 40 % - 50 % setelah itu nilai durabilitas beton akan kembali naik (Sambowo, K . A , 2003).

Porositas

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap nilai Porositas beton dibuat grafik perbandingan :



Gambar 14. Grafik Pengaruh Kadar *Fly Ash* terhadap Porositas

Dalam penelitian ini membuktikan makin besar kadar *fly ash* maka makin turun nilai Porositas beton. Dengan rumus empiris :

$Porositas = 0.120 (FA)^2 - 3.006 (FA) + 20.85$

(Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

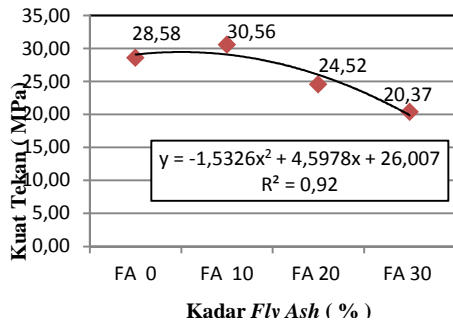
Pengaruh Kadar *Fly Ash* Terhadap Kekuatan Dan Durabilitas Beton Akibat Rendaman Air Laut

Untuk mengetahui pengaruh kadar *fly ash* terhadap kekuatan dan durabilitas beton akibat rendaman air laut, dilakukan perendaman benda uji selama 300 jam atau 13 hari setelah benda uji berumur 28 hari. Kemudian dilakukan beberapa jenis pengujian.

Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kekuatan Beton Akibat Rendaman Air Laut

Kuat Tekan (f'c)

Dari hasil penelitian dibuat grafik perbandingan kuat tekan beton terhadap pengaruh kadar fly ash yang sudah direndam air laut :



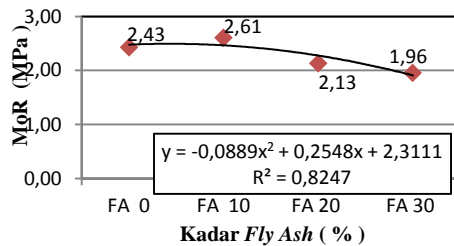
Gambar 15. Grafik Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan Rendaman Air Laut

Dari gambar 15, penambahan kadar fly ash 10 % meningkatkan nilai kuat tekannya dibandingkan dengan beton (fly ash 0%), tetapi beton dengan kadar fly ash 20%, dan 30% lebih kecil nilai kuat tekannya. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan fly ash 10% meningkatkan kuat tekan beton rendaman air laut sebesar 6.9 % . Dengan Rumus empiris :

Kuat Tekan = - 1.532 (FA)² + 4.597 (FA) + 26.00 (Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Modulus of Rupture (MoR)

Dari hasil penelitian dibuat grafik perbandingan nilai MoR beton pengaruh kadar fly ash yang direndam air laut

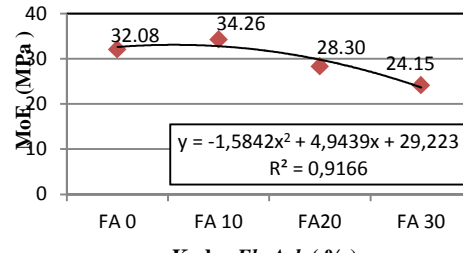


Gambar 16. Grafik Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap nilai MoR Rendaman Air Laut

Dari gambar 16, diketahui penambahan fly ash sebesar 10% bisa meningkatkan MoR beton rendaman air laut sebesar 7.3% dibandingkan dengan beton fly ash 0%.

Modulus Elastisitas(MoE)

Dari hasil penelitian dibuat grafik perbandingan nilai MoE beton terhadap pengaruh kadar fly ash yang sudah direndam air laut :



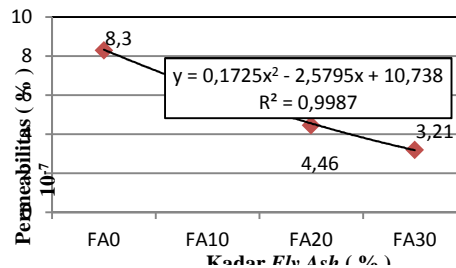
Gambar 17. Grafik Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap nilai MoE Rendaman Air Laut

Dari gambar 17, diketahui penambahan fly ash sebesar 10% bisa meningkatkan MoE beton rendaman air laut sebesar 6.79 % dibandingkan dengan beton fly ash 0%. Dengan rumus empiris :
 $MoE = - 1.584 (FA)^2 + 4.943 (FA) + 29.22$ (Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Durabilitas Beton Akibat Rendaman Air Laut

Permeabilitas

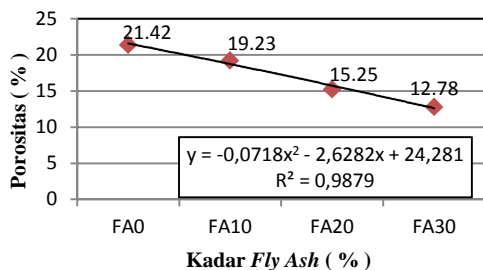
Dari hasil penelitian dibuat grafik perbandingan untuk memperoleh perbandingan Permeabilitas beton setelah direndam air laut :



Gambar 18. Grafik Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap nilai Permeabilitas Beton Rendaman Air Laut

Porositas

Dari hasil penelitian dibuat grafik grafik perbandingan nilai *Porositas* beton terhadap pengaruh kadar *fly ash* yang sudah direndam air laut :



Gambar 19. Grafik Pengaruh Kadar *Fly Ash* Terhadap Nilai Porositas Beton Rendaman Air Laut

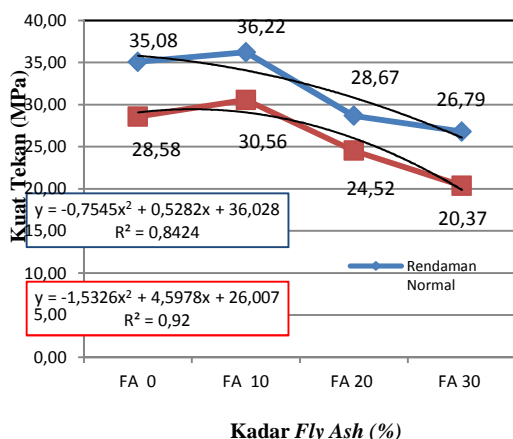
Dari gambar 19, diketahui bahwa makin besar kadar *fly ash* maka makin turun nilai Porositas beton. Dengan rumus empiris : Porositas = - 0.071 (FA)² + 2.628 (FA) + 24.28

(Rumus empiris hasil regresi polynomial order 2 dari grafik)

Beton Dengan Kadar *Fly Ash* Optimum Untuk Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Yang Tahan Terhadap Air Laut

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan hasil pengujian terhadap beberapa benda uji, dapat diketahui beton dengan kadar *fly ash* optimum yang lebih tahan terhadap pengaruh air laut.

Kuat Tekan (f'c)

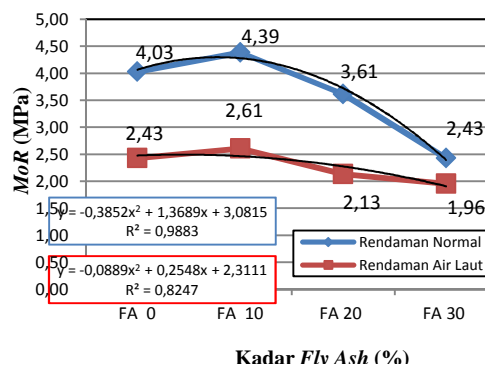


Gambar 20. Grafik Perbandingan Kadar *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton

Dari Gambar 20, penambahan kadar *fly ash* 10 % lebih tinggi kuat tekan betonnya dibandingkan jenis variasi benda uji yang lain. Tetapi pengaruh perendaman air laut juga menurunkan kuat tekan beton, Dengan hasil regresi polynomial orde 2 :

f'c (Normal) = - 0.754 (FA)² + 0.528 (FA) + 36.02
 f'c (Air Laut) = - 1.532 (FA)² + 4.597 (FA) + 26.00

Modulus of Rupture (MoR)

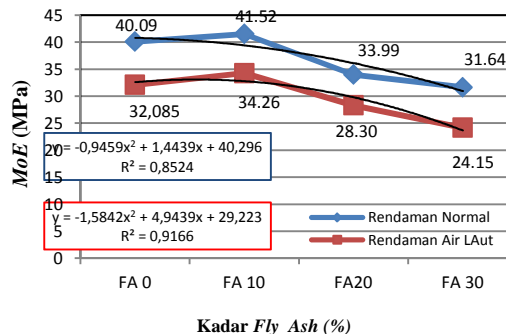


Gambar 21. Grafik Perbandingan Kadar *Fly Ash* Terhadap *Modulus of Rupture* Beton

Dari Gambar 21. penambahan kadar *fly ash* 10 % lebih tinggi nilai *Modulus of Rupture* betonnya dibandingkan jenis variasi benda uji yang lain, tetapi pengaruh dari perendaman air laut juga menurunkan nilai *MoR* beton, Dari grafik 4.22. didapat rumus dari hasil regresi linier polynomial orde 2 :

MoR (Normal) = - 0.385 (FA)² + 1.368 (FA) + 3.081
 MoR (Air Laut) = - 0.088 (FA)² + 0.254 (FA) + 2.311

Modulus Elastisitas (MoE)



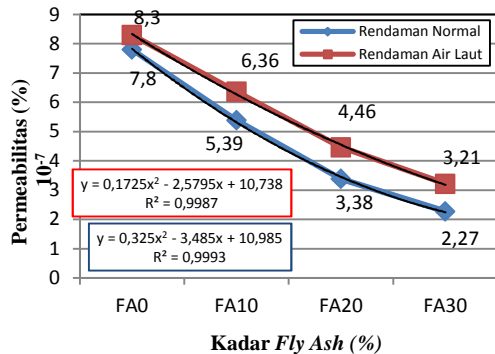
Gambar 22. Grafik Perbandingan Kadar *Fly Ash* Terhadap *Modulus Elastisitas* Beton

Dari gambar 22, diketahui bahwa beton dengan kadar *fly ash* 10% adalah kadar *fly ash* optimum yang bisa dicapai dalam pengujian *Modulus Elastisitas* Beton. Dengan rumus dari hasil regresi linier polynomial orde 2 :

$$\text{MoE (Normal)} = -0.945 (FA)^2 + 1.443 (FA) + 40.29$$

$$\text{MoE (Air Laut)} = -1.584 (FA)^2 + 4.943 (FA) + 29.22$$

Permeabilitas



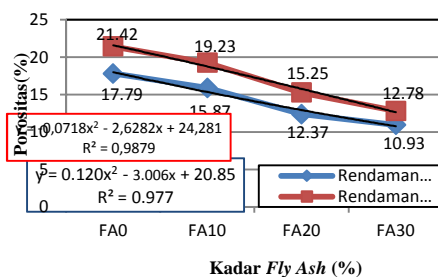
Gambar 23. Grafik Perbandingan Kadar *Fly Ash* Terhadap Permeabilitas Beton

Dari gambar 23. diketahui bahwa makin tinggi kadar *fly ash* beton maka nilai permeabilitas beton akan semakin turun, tetapi pada penambahan *fly ash* tertentu akan mencapai titik optimal sehingga nilai permeabilitas beton akan kembali naik. Pada penelitian yang lain titik optimal penambahan *fly ash* diketahui antara 40 % - 50 % setelah itu nilai durabilitas beton akan kembali naik (Sambowo, K . A , 2003). Dari gambar 23 didapat rumus dari hasil regresi polynomial order 2 :

$$\text{Permeabilitas (Normal)} = 0.325 (FA)^2 - 3.485 (FA) + 10.98$$

$$\text{Permeabilitas (Air Laut)} = 0.172 (FA)^2 - 2.579 (FA) + 10.73$$

Porositas



Gambar 24. Grafik Perbandingan Kadar *Fly Ash* Terhadap Porositas Beton

Dari gambar 24 diketahui penambahan kadar *fly ash* akan menurunkan nilai porositas beton, dikarenakan *fly ash* dapat menjadi bahan pengisi (*filler*). Dengan penambahan kadar *fly ash* maka akan menjadi bahan pengisi (*Filler*) yang mengakibatkan serapan air laut menjadi berkurang. sehingga mengurangi pengaruh air laut terhadap durabilitas beton. Sehingga makin banyak kadar *fly ash*, maka akan menurunkan nilai porositas pada beton. Dari gambar 24 didapat rumus dari hasil regresi polynomial order 2:

$$\text{Porositas (Normal)} = 0.120 (FA)^2 - 3.006 (FA) + 20.85$$

$$\text{Porositas (Air Laut)} = -0.071 (FA)^2 - 2.628 (FA) + 24.28$$

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, bisa didapat beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pengaruh Kadar *Fly Ash* Terhadap kekuatan dan durabilitas Beton Untuk Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*).
 - a. Penambahan kadar *Fly Ash* 10 % ($f'c=36.22$ Mpa) bisa meningkatkan nilai kuat tekan beton sebesar 3.23 % dibandingkan beton dengan kadar *Fly Ash* 0%. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
 Kuat Tekan = $-3.244 (FA) + 39.80$
 - b. Penambahan kadar *Fly Ash* 10 % (*Modulus of Rupture* = 4.39 Mpa) bisa meningkatkan nilai *Modulus of Rupture* sebesar 8.82 % dibandingkan beton dengan kadar *Fly Ash* 0%. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Modulus of Rupture = $\text{MoR} = -0.557 (FA) + 5.007$
 - c. Penambahan kadar *Fly Ash* 10 % ($\text{MoE} = 41.52 \times 10^3$ Mpa) bisa meningkatkan nilai *Modulus Elastisitas* sebesar 3.57 % dibandingkan beton dengan kadar *Fly Ash* 0%. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Modulus Elastisitas = $-3.285 (FA) + 45.02$

- d. Penambahan kadar *fly ash* dalam penelitian ini membuktikan, makin besar kadar *fly ash* maka makin kecil nilai permeabilitas beton, yang mengindikasikan makin tinggi kadar *fly ash* maka beton tersebut makin kedap air.
Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Permeabilitas = $-1.86(FA)^2 + 9.36$
- e. Nilai Porositas beton dengan kadar *Fly Ash* 0% = 17.79%, Porositas beton dengan kadar *Fly Ash* 10% = 15.87 %, Porositas beton dengan kadar *Fly Ash* 20% = 12.37%, porositas beton dengan kadar *Fly Ash* 30%= 10.93%. Dalam penelitian ini membuktikan makin besar kadar *Fly Ash* maka makin turun nilai Porositas beton. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Porositas = $-2.405(FA) + 20.25$
2. Pengaruh Kadar *Fly Ash* Terhadap kekuatan dan durabilitas Beton Akibat Rendaman Air Laut
- a. Penambahan *Fly Ash* sebesar 10% bisa meningkatkan kuat tekan beton rendaman air laut sebesar 6.9% dibandingkan beton dengan kadar *Fly Ash* 0% Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Kuat Tekan = $-3.244 (FA) + 39.80$
- b. Penambahan *Fly Ash* sebesar 10% bisa meningkatkan *Modulus of Rupture* beton rendaman air laut sebesar 7.3% dibandingkan dengan beton *Fly Ash* 0%. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Modulus of Rupture = $-0.189 (FA) + 2.755$
- c. Penambahan *Fly Ash* sebesar 10% bisa meningkatkan *Modulus Elastisitas* beton rendaman air laut sebesar 6.79 % dibandingkan dengan beton *Fly Ash* 0%. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Modulus Elastisitas = $- 2.977 (FA) + 37.14$
- d. Makin besar kadar *Fly Ash* makin turun nilai permeabilitas beton,. Dalam penelitian ini beton dengan penambahan *Fly Ash* 10% juga termasuk sebagai beton kedap air agresif sedang. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Permeabilitas = $-1.771(FA) + 9.875$
- e. Dalam penelitian ini membuktikan makin besar kadar *Fly Ash* maka berpengaruh terhadap makin turunnya nilai Porositas beton. Berdasarkan rumus empiris hasil regresi linier dari grafik:
Porositas = $-2.987(FA) + 24.64$
3. Beton Dengan Kadar *Fly Ash* Optimum Untuk Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Yang Tahan Terhadap Air Laut
- Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, bisa diketahui beton dengan kadar *Fly Ash* optimum untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang tahan terhadap air laut. Dengan menggunakan parameter yang sering dipakai di Indonesia, dalam mengidentifikasi mutu atau kualitas beton untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) dipakai nilai *modulus of rupture* sebesar $= 45 \text{ kg/cm}^2$. Menurut SNI 1991 3.78 Mpa, sedangkan kuat tekan beton digunakan untuk mendapatkan *modulus elastisitas* beton yang diperlukan dalam penentuan tebal pelat beton perkerasan kaku. Dari parameter tersebut dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan. Penggunaan kadar *Fly Ash* yang optimum sebesar 10%, dengan nilai *MoR* nya sebesar 4.39 Mpa untuk beton normal, tetapi untuk beton yang direndam air laut tidak bisa mencapai parameter yang disaratkan karena kadar *Fly Ash* optimum sebesar 10 % dengan nilai *MoR* hanya sebesar 2.61 Mpa.

REFERENSI

AASHTO, 1993, *American Association of State Highway and Transportation Officials, Guide for Design of Pavement Structure.*

- ACI, 318, 2005, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. American Concrete Institute. Ch. 9, pp. 112
- Agustini, Wahyu, 2008, *Skripsi, Thesis*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Anonim, 1971, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI 1982)*. Bandung : Pusat Penelitian dan pengembangan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Anonim, 1990, *SK SNI T-15 – 1990. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Anonim, 1997, *Struktur Beton*, Badan Penerbit Universitas Semarang
- Murdock dan K.M Brook (Alih bahasa Stepanus Hendarko)1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta ; Erlangga
- Mc Cormac, J.C. 2003 *Design of Reinforced Concrete 9Fith Edition*. Terjemahan. Jakarta : Erlangga
- Nawy, E.G. 1996. *Reinforcement Concrete a Fundamental Approach (Third Edition)*. Preinstice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Neville, A.M. dan Brooks, J.J. 1987. *Concrete Technology*. New York: Longman Scientific & Technical.
- Neville, A.M. 1995. *Properties of Concrete*. London: the English Language Book Society and Pitman Publishing
- Rony Ardiansyah, "Fly Ash" *Pemanfaatan & Kegunaannya*, www.google.com 26 Mei 2010.
- Priyanto Budi H, 2004, *Analisis Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Fly Ash Pada Perendaman Air Laut*. www.scrbd.com. 23 september 2010.
- Sambowo, K . A , 2003, *Engineering Properties and Durability Performance of Metakolin and Metakaolin – PFA Concrete*, *PHD Thesis*, University of Sheffield.
- SK SNI T-15-1990-03, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton*.