

STUDI BANDING PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN DAN KADAR FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS BETON RINGAN

oleh : Hidayat Mughnie

Dosen Tetap Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

email: hmugn@yahoo.com

ABSTRAK: Kadar air semen (w/c) sangat mempengaruhi kuat tekan beton, kadar air semen yang kecil menghasilkan kuat tekan yang besar. sebaliknya kadar air semen besar menghasilkan kuat tekan beton yang kecil. Abu terbang (fly ash) dapat meningkatkan kuat tekan beton, karena fly ash mengandung SiO_2 yang tinggi, kekuatan beton meningkat karena butiran mikrosilika yang sangat halus bereaksi dengan air dan $Ca(OH)_2$ (kapur) akan menghasilkan Massa yang padat, sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih besar. Pada percobaan ini kuat tekan yang paling besar adalah 50 Mpa yang dihasilkan oleh campuran dengan perbandingan air semen (w/c) = 0.3 dan penambahan fly ash 30%.

Kata Kunci: Fly Ash, Beton, w/c , SiO_2

ABSTRACT: The water cement content (w/c) greatly affect the strength of concrete, a small water content produces a strong cement compressive strength is great water content of cement instead of concrete compressive strength result small. Fly ash can increase the strength of concrete, because the fly ash contains a high SiO_2 , the concrete strength increases as grain mikrosilika very Hales react with water and $Ca(OH)_2$ (lime) will produce a solid mass, resulting in power greater. In this experiment the greatest compressive strength is 50 Mpa produced by the mixture of premises water cement ratio (w/c) equal 0.3 and 30% flyash.

Keywords: Fly Ash, Concrete, w/c , SiO_2

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Beton adalah bahan utama konstruksi yang banyak dipakai di Indonesia, karena bahan dasar beton mudah didapat, harganya relatif murah dan beton mudah dibentuk sesuai dimensi yang diperlukan, juga kekuatan beton dapat dibuat sesuai konstruksi yang akan dipakai.

Dengan pesatnya perkembangan teknologi beton, maka telah dilakukan berbagai penelitian tentang beton, baik beton normal, beton mutu tinggi maupun beton ringan. Yang kesemuanya itu tergantung, dari jenis material yang digunakan. Dengan mengetahui sifat-sifat dari material bahan dasar beton, maka kombinasi yang tepat akan menambah kinerja beton.

Penggunaan fly ash (abu terbang), sangat dimungkinkan karena fly ash mempunyai sifat yang bisa memperbaiki kinerja beton, fly ash dapat dibuat agregat kasar sehingga menjadi agregat kasar yang ringan, yang akhirnya bisa mengurangi berat dari beton. Disamping itu juga serbuk fly ash bisa langsung dicampurkan pada waktu pembuatan beton, agar kinerja beton lebih baik seperti misalnya kekuatan, dan permeabilitasnya meningkat.

Bila nantinya banyak ditemukan teknologi beton yang menggunakan fly ash, maka bahan ini bisa dimanfaatkan semaksimal mungkin, karena produksi fly ash sisa pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga listrik di Indonesia setiap tahun sangat banyak,

TUJUAN PENELITIAN

Maksud penelitian adalah untuk memanfaatkan abu terbang (fly ash) yang banyak sekah di dihasilkan oleh pembangkit tenaga uap yang ada di Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sejauh many pengaruh faktor air semen dan kadar fly ash terhadap kuat tekan dan permabilitas dan hasilnya akan dicari formulasi rancang campur beton ringan

BATASAN MASALAH

Penelitian ini difokuskan pada variasi factor air semen dan kadar fly ash, sifat mekanik beton yaitu kuat tekan, modulus elastisitas dan permeabilitas beton, sifat-sifat material pembentuk beton Sedangkan benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, silinder ukuran diameter 10 cm tinggi 20 cm dan benda uji persegi dengan ukuran 20 x 20 x 12 cm.

HIPOTESA

Dengan menggunakan factor air semen yang kecil, kekuatan beton akan meningkat, dan perambahan kadar fly ash tertentu juga akan meningkatkan kekuatan beton, permeabilitas beton yang menggunakan factor air semen yang kecil dan penambahan fly ash tertentu, permeabilitasnya juga akan meningkat.

TINJAUAN PUSTAKA

BETON

Beton adalah campuran pasta semen, agregat dan admixture. Pasta semen terdiri dari semen, air dan bahan additive, sedangkan agregat terdiri dari agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) atau agregat lainnya.

Beton dikatakan baik dan seragam bila memenuhi persyaratan

- Kekuatan (strength) beton mencapai kekuatan yang disyaratkan
- Keawetan (durability) beton memiliki keawetan yang cukup
- Ekonomi: beton yang ekonomis dan didalamnya termasuk workability.

Yang mempengaruhi kekuatan beton adalah kualitas pasta semen, kualitas agregat serta kepadatan beton. Kualitas, pasta yang baik mempunyai air semen yang Tendah, perawatan yang cukup dan semen yang cukup. Kualitas agregat yang baik, mempunyai striWur yang baik, gradasi yang seragam serta bentuk texture yang baik sedangkan kepadatan beton yang baik bila air semen rendah, kandungan pdara rendah, plastis dan lecak serta pemadatan yang baik.

Beton memiliki keawetan (durability) yang cukup bila porositas kecil, permeabilitasnya kecil, tahan terhadap cuaca, kedap, air dan tahan terhadap abrasi, tahan terhadap serang sulfas, alkali dan zat-zat yang bisa merusak beton.

Sedangkan beton yang ekonomis bila penggunaan bahan yang efektif (banyak, agregat besar pada batas maksimum, nilai slump minimum dan semen minimum), Operational yang efektif (peralatan yang sesuai, metode, yang efektif, (perencanaan operational, organisasi dan pemeriksaan yang baik), mudah untuk dilaksanakan.

Beton ringan structural adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan agregat halus alami dengan kekentalan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ dan harus memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata untuk beton ringan structural

ADMIXTURE BAHAN TAMBAH KIMIA

Admixture adalah suatu bahan yang ditambahkan kedalam campuran beton selain semen, agregat dan air selama pengadukan untuk merubah atau piendapatkan sifat tertentu dari beton. Penambahan admixture pada adukan beton dapat mengurangi pemakaian air, selain itu juga dapat mempercepat atau piemperlambat pengerasan adukan beton.

Jenis bahan tambah chemical admixture ada beberapa macam menurut ASTM C494[2]

Menurut ASTM C494-92 ada 7 tipe bahan tambah kimia campuran beton yaitu

- 1). Tipe A "*water reducing admixture*", bersifat mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu.
- 2). Tipe B "*retarding admixture*", berfungsi menghambat pengikatan beton.
- 3). Tipe C "*accelerating admixture*", berfungsi mempercepat pengikatan beton dan pengembangan kekuatan awal beton.
- 4). Tipe D "*water reducing and retarding admixture*", berfungsi ganda mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan menghambat pengikatan beton.
- 5). Tipe E "*water reducing and accelerating admixtures*", berfungsi ganda mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan beton.
- 6). Tipe F "*water reducing, high range admixture*", berfungsi mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12 %.
- 7). Tipe G "*water reducing, high range and retarding admixture*", berfungsi mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton dengan konsistensinya tertentu sebanyak 12% dan menghambat pengikatan beton.

Kekuatan beton dapat ditingkatkan dengan mengurangi kadar rasio air semen, semakin kecil rasio air semen, kekuatan beton semakin meningkat, untuk itu dapat dipakai bahan tambah kimia jenis pereduksi air tipe F, yaitu superplastisizer yang berfungsi mendispresikan butiran-butiran semen sehingga tidak terjadi penggumpalan adukan dan kelecakan yang diinginkan dapat diperoleh dengan perbandingan air semen sekecil mungkin. Penambahan superplastisizer dapat mengurangi kandungan air 20% - 30 % tanpa menurunkan kelecakan,

KUAT TEKAN BETON

Kekuatan tekan beton tergantung dari jenis campuran, sifat-sifat agregat, faktor air semen, tingkat kepadatan, lama dan kualitas perawatan dan faktor lain seperti bahan aditif. Apabila beton diberi beban, maka sifat tegangan regangan dari beton tergantung dari pada kekuatan beton, umur saat dibebani, kecepatan pembebanan dan ukuran benda uji. Besarnya tegangan dihitung berdasarkan perbandingan antara besar beban aksial terhadap luas bidang permukaan yang 4ibebam, dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana: σ = tegangan
 P = beton aksial
 A = luas bidang tekan

Sedangkan besarnya deformasi akibat gaya aksial yang bekerja pada suatu elemen adalah:

$$\Delta L = \frac{PxL}{Ax E} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana: L = deformasi aksial
 E = modulus elastisitas
 L = panjang elemen.

Sedangkan regangan adalah perubahan panjang akibat beban aksial terhadap panjang elemen.

$$\varepsilon = \frac{\sigma L}{L} \dots\dots\dots 2.3$$

Hubungan tegangan dengan regangan adalah

$$\sigma = \varepsilon \times E \dots\dots\dots 2.4$$

Tegangan maksimum yang dicapai pada regangan tekan 0.002 sampai 0.0025, sedangkan regangan ultimit pada saat hancur beton antara 0.003 sampai 0.0008, tetapi dalam praktek biasanya diambil regangan 0.003 sampai 0.004.

PERBANDINGAN AIR DAN SEMEN (WATER/CEMENT RATIO)

Water/cement ratio sangat menentukan porositas awal dari pasta. porositas awal akan meningkat apabila perbandingan air dan semen meningkat. Hubungan antara, kekuatan pasta dan w/c ratio adalah sebagai berikut [7][9]:

Menurut rumus Feret

$$f_c = \left[\frac{c}{c + w + a} \right]^2 \dots\dots\dots 2.5$$

$$f_c = \left[\frac{1}{1 + w/c + a/c} \right]^2 \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana: c = semen
 w = air
 a = void

MODULUS ELASTISITAS

Modulus elastistas beton ditentukan dan perubahan tegangan terhadap regangan dalam batas, elastisnya., modulus elastisitas ini adalah suatu, ukuran dari kekakuan (stiffeners) atau days tahan bahan terhadap deformasi Dalam pengujian dengan standard ASTM C469-87,"C469-87a" Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson Ratio of Concrete in Compression ". Besarnya, modulus elastisitas ditentukan sebagai berikut-.

$$E_c = \frac{UnitStress(tegangan)}{Unitregangan(regangan)} \dots\dots\dots 2.11$$

atau

$$E = \frac{S2 - S1}{\epsilon 2 - 0.00005} \dots\dots\dots 2.12$$

- Dimana: E = modulus elastisitas (Mpa)
- S1 = tegangan pada saat 40% dari tegangan batas (Mpa)
- S2 = tegangan pada saat regangan 0.0005 (Mpa)
- ε2 = regangan longitudinal akibat tegangan sebesar S2

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5
Untuk beton normal modulus elastisitasnya adalah :

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots 2.13$$

Dengan mempertimbangkan berat isi beton, w_c, maka modulus elastisitas:

$$E_c = 0,043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots 2.14$$

- Dimana: w_c = berat isi (kg/m³)
- E_c = modulus elastisitas beton (Mpa)

Formula dari ACI 363-92 untuk beton mutu 21 Mpa < f_x < 83 Mpa, maka

$$E_c = 3320\sqrt{f_c'} + 6900 \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots 2.15$$

Menurut PBI 1971 ps. 10.9 ayat 2

$$E_c = 19000\sqrt{\sigma_{b,m,h}} \dots\dots\dots 2.16$$

√σ_{b,m,h} = kuat tekan rata-rata umur h hari (kg/cm²)

Menurut ACI 318 R-95 pasal 8.5
Modulus elastisitas beton adalah:

- E_c = 57000√f_c' (psi)..... 2.17
- E_c = 4700√f_c' (Mpa)..... 2.18

Dengan mempertimbangkan berat isi beton, w_c , maka modulus elastisitas:

$$\begin{aligned} E_c &= 33 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \text{ (psi)} && \dots\dots\dots 2.19 \\ E_c &= 0.043 w_c^{1.5} f'_c \text{ (Mpa)} && \dots\dots\dots 2.20 \end{aligned}$$

Dimana: w_c = berat isi (90 – 155 lb/ft³ atau 1500 – 2500 kg/m³)

PERMEABILITAS

Permeabilitas beton diartikan sebagai ukuran kemudahan lolos air menembus, beton. Permeabilitas ini sangat penting terutama ditinjau dari keawetan (durability), karena dapat mengendalikan laju serangan agresif kimia dan pergerakan air. Salah satu parameter yang sangat mempengaruhi keawetan (durability) dari beton adalah perbandingan air dan semen. Bila perbandingan air dan semen dikurangi, maka porositas pasta ikut berkurang sehingga beton menjadi lebih kedap air.

Permeabilitas beton dapat ditentukan dengan pengujian permeabilitas air yang dinyatakan dengan koefisien permabilitas yang dapat, dihitung dengan rumus Darcy [7] sebagai berikut :

$$\frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} = k \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots 2.21$$

- Dimana: dQ/dt = debit aliran air (cm³/detik)
 k = koefisien permeabilitas (cm/detik)
 L = ketebalan benda uji (cm)
 A = luas penampang benda uji (cm²)
 Δh = tinggi tekanan (cm)

Nilai permeabilitas beton [2]

1. Permeabilitas dari mature hardened paste adalah 0.10×10^{-12} cm / detik untuk water semen ratio yang berkisar 0.30 sampai dengan 0.70
2. Permeabilitas dari batuan (rock) yang umumnya dipakai untuk campuran beton bervariasi antara 1.7×10^{-9} sampai dengan 3.5×10^{-13}
3. Permeabilitas untuk beton yang berkualitas baik kurang 1×10^{-10} cm/detik

HASIL STUDI EKSPRIMENTAL DAN ANALISA

PENDAHULUAN

Hasil yang diperoleh dari studi eksprimental di Laboartorium dianalisa untuk endapatkan gambaran tentang kuat tekan, formulasi, modulus elastisitas dan permeabilitas beton ringan dengan menggunakan agregat ringan buatan Hakagribb dan dengan memakai bahan additif fly ash.

HASIL UJI SLUMP

Pengujian slump adalah penting untuk mengetahui tingkat kelecakan dari adukan beton, tingkat kelecakan ini mempengaruhi terhadap kemudahan pengerjaan (workability) dari

beton. Pada kadar air yang kecil yaitu $w/c = 0,3$ untuk mendapatkan nilai slump yang besar, maka dipakai superplastisizer 2 %. Hasil uji slump dalam pembuatan campuran beton, pada $w/c = 0,3$ dengan memakai superplastisizer 2%, didapat nilai slump 20 cm. Pada $w/c=0,4$ dan $w/c=0,5$ tanpa memakai admixture nilai slump 14 cm sampai 20 cm. Sedangkan pada $w/c=0,6$ dan $w/c=0,7$ didapat adukan beton yang flow.

PERKEMBANGAN UJI KUAT TEKAN

Untuk beton yang menggunakan fly ash, perkembangan kekuatan beton pada umur 28 hari keatas masih sangat besar, oleh karena proses hidrasinya lambat. Berikut ini disajikan grafik perkembangan kuat tekan beton pada umur 7,28,56 dan 90 hari.

HASIL UJI KUAT TEKAN

Hasil uji kuat tekan beton ringan yang pada penelitian ini, memakai agregat ringan Hakagribb seperti terlihat pada tabel.4.2 Berdasarkan hasil uji kuat tekan tersebut bahwa kadar air semen sangat mempengaruhi kekuatan beton, semakin kecil kadar air semen, hasil uji kuat tekan semakin besar. Ini disebabkan karena dengan perbandingan kadar air semen yang kecil, maka porositas yang terjadi pada pasta semen semakin kecil. Sehingga dengan berkurangnya porositas pada pasta semen, beton semakin padat dan akan menghasilkan kuat tekan beton yang besar. Juga penambahan mikrosilika, sangat mempengaruhi hasil kuat tekan, pada percobaan ini hasil uji kuat tekan yang memakai additif mineral (fly ash 15 %), nilainya, lebih kecil dari campuran beton fly ash 20%, sedangkan pernakalain fly ash sebanyak 30% menghasilkan uji kuat tekan yang paling besar. Penambahan mikrosilika pada campuran beton akan menghasilkan jumlah CSH gel lebih banyak, selain itu karena butir-butir mikro silika kecil sekali, sehingga mengisi pori-pori pasta semen dan mengisi pori-pori agregat, dan pasta semen semakin padat yang berarti porositas pasta berkurang dan kekuatan tekan beton akan meningkat.

Hasil dari pengujian kuat tekan beton ditampilkan pada grafik berikut ini.

BERAT ISI BETON

Pada kadar air semen 0.7, berat isi beton terlihat lebih ringan dari pada yang berkadar air semen 0.3, juga pada campuran fly ash yang kecil berat isi beton lebih kecil dibandingkan dengan beton dengan campuran fly ash yang besar. Ini disebabkan karena pada kadar air semen yang kecil dan campuran fly ash yang besar, kepadatan dari beton cukup baik, sehingga porinya kecil. Sehingga kuat tekan beton meningkat. Dari hasil percobaan didapat berat isi beton antara 1800 s/d 2083 kg/m³

MODULUS ELASTISITAS

Nilai modulus elastisitas diambil berdasarkan pengujian kuat tekan aksial benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian modulus elastisitas beton ringan Hakagribb pada umur 90-hari dengan yang diambil dari rata-rata dua benda uji untuk campuran beton dengan $w/c=0,3$, $w/c=0,4$ dan $w/c=0,5$, menghasilkan nilai modulus elastisitas 28000 sampai 32000 Mpa. Pada percobaan ini dilakukan pengujian modulus elastisitas hanya pada $w/c=0,3$, $w/c=0,4$ dan $w/c=0,5$, dari variasi ketiga kadar air semen tersebut sudah dapat mewakili keseluruhan campuran. Hasil pengujian ini di bandingkan dengan rumusan berdasarkan SKSNI T-15-1991.03 dan ACI yang rumusnya adalah sebagai berikut

$$E_c = 0.043 \cdot w \cdot c^{1.5} \cdot \sqrt{f'_c}, \text{ dimana } E_c \text{ adalah modulus elastisitas dalam Mpa, } w \cdot c$$

adalah berat jenis beton dalam kg/m³ dan f_c adalah kuat tekan beton Mpa.

Hasil pengujian modulus elastisitas dibandingkan dengan rumus SKSNI T-151991.03 dan ACI adalah sebagai berikut

Dari hasil penelitian terlihat bahwa besar nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh berat isi, berat isi meningkat modulus elastisitas juga meningkat, sebaliknya berat isi kecil, modulus elastisitas turun. Ini dikarenakan berat isi besar, kepadatan beton besar, kuat tekan besar, regangan kecil seperti yang terlihat pada Label grafik dibawah ini.

Tabel 4.2. Hasil penujian modulus elastisitas dibandingkan dengan SKSNI/ACI

w/c	f/c	Berat jenis (kg/m ³)	f _c (Mpa)	Modulus elastisitas		Rata-rata (Mpa)	SKSNI/ACI (Mpa)
				Sample 1	Sample 2		
0.3	15%	2010	49.232	31258.37	31360.57	31309.47	27188.56
	20%	2020	49.515	31438.01	31548.70	31493.355	27470.33
	30%	2040	50.364	31976.95	31864.40	31920.675	28117.31
0.4	15%	1960	47.251	30180.49	30146.76	30163.625	25648.27
	20%	1980	47.534	31078.72	31009.53	31044.125	26125.21
	30%	2010	48.949	31034.8	31397.42	31216.11	27110.31
0.5	15%	1940	44.988	28563.68	28432.42	28498.05	24644.46
	20%	1950	45.695	28994.83	28879.31	28937.07	25029.65
	30%	1970	46.968	29821.2	29654.22	29737.71	25767.29

FORMULASI BERDASARKAN HASIL EKSPRIMEN

Pada percobaan ini dan penelitian-penelitian sebelumnya, bahwa faktor air semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton, dan pemakaian bahan tambah mineral akan meningkatkan kuat tekan beton, pada penelitian ini digunakan agregat ringan hakagribb, dengan memakai agregat ini, berat beton menjadi ringan dan berat isinya lebih kecil dari beton normal.

Dalam menetapkan formulasi dari hasil percobaan ini, dipakai formulasi dasar dari formula Feret, dari formulasi dasar Feret dengan memperhatikan kadar air semen, kadar fly ash dan grafik yang ada, dengan cars trial dan error, maka didapatkan suatu rumusan empiris yang penulis usulkan dengan memberi nama. formulasi FeretSupartono Hidayat (Feret - F_{xh}).

$$f_{cr} = \frac{k(1 - w/c * e^{-\alpha \cdot f/c})}{(1 + w/c)^2}$$

$$f_{cr} = k * Br$$

- Dimana :
- w/c : rasio air dan semen
 - f/c : kadar mikrosilika yang ditambahkan
 - f_{cr} : kuat tekan beton (Mpa)
 - k : konstanta identifikasi
 - Br : besaran dasar kuat tekan beton

Setelah dicoba-coba maka didapatkan nilai yang paling mendekati adalah α=2.5 dan dengan regresi Tinier didapatkan nilai k = 90 (56 hari) dan k = 98.5 (90 hari)

Sehingga didapat formulasi beton ringan dengan memakai agregat ringan buatan Hakagribb dan fly ash adalah sebagai berikut :

$$f_{cr} = \frac{90(1 - w/c * e^{-2.5.f/c})}{(1 + w/c)^2} \quad (\text{untuk 56 hari})$$

$$f_{cr} = \frac{98.5(1 - w/c * e^{-2.5.f/c})}{(1 + w/c)^2} \quad (\text{untuk 90 hari})$$

FORMULA FERET-MODIFIKASI

Formulasi dasar dari Rene Feret, yang kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh Francois de Larrard, sehubungan dengan penggunaan mikrosilika pada campuran beton, dimana telah diformulasikan secara empiris antara kuat tekan beton dengan empat variabel yaitu ; rasio air semen, kadar mikrosilika yang ditambahkan, kuat tekan mortar semen sebagai pembentuk dasar beton berdasarkan material lokal dan agregat lokal dan kondisi lokal lainnya.

Formulasi Feret yang telah di modifikasi de Larrard tersebut adalah sebagai berikut

$$f_{cm} = \frac{Kg * Rc}{\left[1 + \frac{3,1w/c}{1,4 - 0,4e^{-1s/c}} \right]^2}$$

Dimana :

- f cm : kuat tekan beton (Mpa)
- Bc : Besaran dasar kuat tekan beton
- Rc : kuat tekan mortar semen sebagai pembentuk dasar beton nilainya 46,36 (sesuai dengan penelitian yang dilakukan di UNTAR)
- w/c : rasio air semen
- s/c : kadar mikrosilika yang ditambahkan
- Kg : Konstanta dasar campuran beton

Dengan regresi Tinier, maka didapatkan fungsi yang mewakili semua bends uji sebagai berikut :

$$Y = 2,7426 X \quad (\text{untuk umur 56 hari})$$

$$Y = 2,9939 X \quad (\text{untuk umur 90 hari})$$

Sehingga didapat konstanta identifikasi Feret-Modifikasi untuk material Hakagribb dan bahan tambah fly ash adalah sebagai berikut

$$Kg = 2,7426 \quad (\text{untuk umur 56 hari}).$$

$$Kg = 2,9939 \quad (\text{untuk umur 90 hari}).$$

FORMULA ABRAMS -FXS

Formulasi dasar dari Abrams, yang kemudian dikembangkan dan dimodifikasi dan dinamakan Formula Abrams-Fxs adalah sebagai berikut

$$f'cr = \frac{A[1 + 0,55(1 - e^{-18s/c})]}{B^{w/c}}$$

$$\text{Log} f'cr = \text{Log} A + \text{Log}(1 + 0,55(1 - e^{-18s/c})) - \text{Log} B^{w/c}$$

$$\text{Log} f'cr = \text{Log} A + \text{Log}(1 - e^{-18s/c}) = \text{Log} A - \text{Log} B^{w/c}$$

$$\text{Log} \left(\frac{f'cr}{1 + 0,55(1 - e^{-18s/c})} \right) = \text{Log} A - \text{Log} B^{w/c}$$

$$\text{Log} \left(\frac{f'cr}{1 + 0,55(1 - e^{-18s/c})} \right) = \text{Log} A - w/c * \text{Log} B$$

Dimana: nilai konstanta dasar

$$\beta = 0,55$$

$$\lambda = 18$$

A dan B adalah konstanta identifikasi

Dengan cara regresi tinier, sehingga mendapatkan persamaan sebagai berikut $Y = -0,9164X + 1,7273$ (untuk umur 56 hari)

$Y = -0,9469X + 1,7788$ (untuk umur 90 hari)

Sehingga didapatkan nilai A dan B sebagai beriku

$$\text{Log} A = 1,7273$$

$$\text{Log} B = 0,9164$$

$$A = 53,37$$

$$B = 8,2489 \text{ (untuk 56 hari)}$$

$$\text{Log} A = 1,7788$$

$$\text{Log} B = 0,9469$$

$$A = 60,0896$$

$$B = 8,8491 \text{ (untuk 90 hari)}$$

Didapat Formula Abrams-Fxs dengan material Haagridd dan bahan tambah fly ash sebagai berikut :

$$f'cr = \frac{53,4[1 + 0,55(1 - e^{-18f/c})]}{8,25^{w/c}} \text{ (untuk 56 hari)}$$

$$f'cr = \frac{60[1 + 0,55(1 - e^{-18f/c})]}{8,85^{w/c}} \text{ (untuk 90 hari)}$$

NILAI KUAT TEKAN (FORMULASI ABRAMS-FXS, FERET - MODILKASI, FERET-FXH DAN HASIL PERCOBAAN UMUR 56 HARI).

Setelah didapat konstanta-konstanta dari rumusan formulasi Abrmas-Fxs, FeretModifikasi, Feret-Fxh, konsanta berdasarkan material agregat ringan Hakagribb dan fly ash pada umur 56 hari, maka didapat nilai kuat tekan untuk formulasi-formulasi tersebut, nilai ketiga rumusan tersebut dibandingkan dengan hasil eksperimen adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.3. Perbandingan Kuat tekan antara Formulasi Abrams-Fxs, Formulasi Feret-Modifikasi, Formulasi yang didapat dari hasil percobaan (FeretFhx) dan Kuat tekan hasil percobaan (56 hari)

w/c	f/c	f/c Abrams-Fxs	Fc Feret-Modifikasi	Fc Feret-Fxh	Fc Exp
0.3	0.15	42.04	43.81	42.27	42.017
	0.2	43.17	44.69	43.56	43.396
	0.3	43.82	45.47	45.71	45.051
0.4	0.15	34.04	33.85	33.29	33.125
	0.2	34.96	34.65	34.78	34.802
	0.3	35.48	35.37	37.24	37.306
0.5	0.15	27.57	26.94	26.25	26.738
	0.2	28.31	27.65	27.87	28.860
	0.3	28.73	28.29	30.55	30.515
0.6	0.15	22.32	21.95	20.66	20.902
	0.2	22.92	22.58	22.36	22.918
	0.3	23.27	23.14	25.19	24.871
0.7	0.15	18.08	18.23	16.16	16.870
	0.2	18.56	18.78	17.92	18.780
	0.3	18.84	19.28	20.84	20.796

NILAI KUAT TEKAN (FORMULASI ABRAMS-FXS, FERET - MODIFKASI, FERET-FXH DAN HASIL PERCOBAAN UMUR (90 HARI).

Setelah didapat konstanta-konstanta dari rumusan formulasi Abrmas-Fxs, FeretModifikasi, Feret-Fxh, konsanta berdasarkan material agregat ringan Hakagribb dan fly ash pada umur 90 hari, maka didapat nilai kuat tekan untuk formulasi-formulasi tersebut, nilai ketiga rumusan tersebut dibandingkan dengan hasil eksperimen adalah seperti pada Label berikut.

Tabel 4.4. Perbandingan Kuat tekan antara Formulasi Abrams-Fxs, Formulasi Feret-Modifikasi, Formulasi yang didapat dari hasil percobaan dan Kuat tekan hasil percobaan (90 hari)

w/c	f/c	f/c Abrams-Fxs	Fc Feret-Modifikasi	Fc Feret-Fxh	Fc Exp
0.3	0.15	46.25	47.80	46.27	46.091
	0.2	47.50	48.76	47.68	47.577
	0.3	48.21	49.62	50.02	49.02

0.4	0.15	37.19	36.94	36.44	36.721
	0.2	38.19	37.81	38.06	37.985
	0.3	38.76	38.59	40.72	40.956
0.5	0.15	29.91	29.40	28.72	28.86
	0.2	30.71	30.17	30.50	31.513
	0.3	31.17	30.87	33.44	33.104
0.6	0.15	24.05	23.95	22.61	23.661
	0.2	24.69	24.64	24.47	24.934
	0.3	25.06	25.26	27.57	27.056
0.7	0.15	19.34	19.89	17.69	17.825
	0.2	19.86	20.49	19.61	19.523
	0.3	20.15	21.04	22.81	22.197

Pada umur 56 hari, perbandingan kuat tekan antara Formulasi Abrms-Fxs, Feret-Modifikasi, Formulasi Feret-Fxh (formulasi yang diusulkan hasil percobaan) dan Kuat tekan hasil eksperimen, untuk $w/c=0,3$ kuat tekan terbesar 45.71 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 42.017 Mpa pada hasil eksperimen dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,4$ kuat tekan terbesar 37.24 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 33.125 Mpa pada hasil eksperimen dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,5$ kuat tekan terbesar 30.55 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 26.25 Mpa pada hasil eksperimen dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,6$ kuat tekan terbesar 25.19 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 20.66 Mpa pada hasil eksperimen dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,7$ kuat tekan terbesar 20.84 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 20.84 Mpa pada Feret-Fxh dengan kadar fly ash 15%.

Pada umur 90 hari, perbandingan kuat tekan antara Formulasi Abrms-Fxs, Feret-Modifikasi, Formulasi Feret-Fxh (formulasi yang diusulkan hasil percobaan) dan Kuat tekan hasil eksperimen, untuk $w/c=0,3$ kuat tekan terbesar 50.02 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 46.091 Mpa pada hasil eksperimen dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,4$ kuat tekan terbesar 40.956 Mpa pada formulasi hasil eksperimen dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 36.44 Mpa formulasi Feret-Fxh dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,5$ kuat tekan terbesar 33.44 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 28.72 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,6$ kuat tekan terbesar 27.57 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 22.61 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fly ash 15%.

Untuk $w/c=0,7$ kuat tekan terbesar 22.81 Mpa pada formulasi Feret-Fxh dengan kadar fy ash 30%, sedangkan kuat tekan terkecil sebesar 17.69 Mpa pada Feret-Fxh dengan kadar fly' ash 15%.

Pemilihan pada umur 56 hari dan 90 hari karena campuran beton yang menggunakan bagan tambah fly ash, kekuatan beton akan meningkat cukup signifikan pada umur tersebut, pada umur dibawah 28 hari peningkatan kuat tekan beton kecil, cenderung lebih kecil dari semen biasa seperti terlihat pada Gambar 2.5

PERMEABILITAS

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan ternyata ada kombinasi w/c yang tidak memenuhi syarat sebagai beton kedap air. Berdasarkan standar DIN 1045, bahwa apabila beton diberi tekanan 7 bar selama 4x24 jam dan kedalaman penetrasi kurang dari 5 cm, maka beton tersebut bisa dikategorikan beton kedap air.

Pengujian kedap air menurut standar DIN. 1045, bahwa syarat standar penetrasi adalah kurang dari 5 cm.

Pada percobaan ini yang tidak menuhi syarat kedap air adalah bends uji yang menggunakan campuran kadar air semen 0.7 dan fly ash 15 % dengan penetrasi air lebih dari 5 cm.

Berdasarkan grafik yang didapat dari koefisien permeabilitas, bahwa utuk w/c=0.3 dan kadar fly ash 30% mempunyai koefisien permeabilitas yang kecil yaitu, sedangkan pada w/c=0.7 dan fly ash 15% , mempunyai koefisien permeabilitas yang besar. Pada pada w/c yang semakin besar, beton mempunyai lebih banyak (pori-pori porositas) lebih besar, sehingga permeabilitasnya juga besar.

KESIMPULAN

- Semakin kecil faktor air semen (w/c), kuat tekan beton semakin meningkat
- Penambahan kadar fly ash 15 % dari berat semen, menunjukkan kuat tekan beton yang lebih kecil dibandingkan dengan penambahan kadar fly ash 20% dan 30%.
- Faktor air semen 0.7 dan kadar fly ash 15%, menunjukkan kuat tekan yang paling kecil
- Faktor air semen 0.3 dan kadar fly ash 30%, menunjukkan kuat tekan yang paling besar.
- Faktor air semen 0.7 dan kadar fly ash 15%, menunjukkan permeabilitas yang paling besar.
- Faktor air semen 0.3 dan kadar fly ash 30%, menunjukkan permeabilitas yang kecil.
- Untuk faktor air semen 0,3 sampai 0,5 diketegerikan beton kedap air karena penetrasi air kurang dari 5 cm, untuk w/c=0.6 dan w/c=0.7 tidak kedap air karena penetrasi lebih dari 5 cm.
- Berat Isi Beton Ringan dengan memakai agregat Hakagribb pada percobaan ini sebesar 1800 kg /m³ – 2083 kg /m³
- Beton Ringan Hakagribb lebih ringan20% dari berat beton normal.
- Modulus Elastisitas 28000 Mpa – 32000 MPa

PUSTAKA

- [1] American Concrete Institute, "**Building Code Requirements for Structural Concrete & Commentary (ACI 318-95 (ACI 318R-95))**", Farmingthton Hils, MI 48333, 1995
- [2] "**Annual Book of ASTM Standards**", Vol. 04.02, Concrete and Aggregate, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohochoken, PA 19428, 1996
- [3] Departemen Pekerjaan Umum, **SK SNI T-16-1990-F "Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton StrukturaF**, Yayasan LLPMB, Bandung 1990
- [4] Departemen Pekerjaan Umum, **SK SNI T-15-1991-03 "Tatacara Perhitungan**

- Struktur Beton untuk Bangunan Gedung**", Yayasan LLPMB, Bandung 1991
- [5] Hutama Karya, P.T., "**Spesifikasi HAKAGRIBB**", Divisi Properti dan Produksi
- [6] Neville ,A.M., Brooks, J.J., "**Concrete Technologi**", Longman Scientific & Technical, Jhon Willey and Sons, 1993
- [7] Neville ,A.M., "**Properties of Concrete**", The English Language Book Society and Pitman Publishing, Td Edition
- [8] Supartono, F.X., "**Beton Berkinerja Tinggi Keunggulan dan permasalahannya**", Seminar HAKI, Jakarta, Agustus 1998
- [9] Supartono, F.X., "**Rancang Campuran Beton Ringan Mutu Tinggi Berdasarkan Identifikasi Lokal Pada Formulasi Feret**", Jumal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanegara, No.2 tahun ke II, 1996
- [10] Supartono, F.X., "**Rancang Campuran Beton Bermutu Tinggi Berdasarkan Rumusan Abrams-FXS**", Majalah Konstruksi, Edisi Tahun 2001