

STUDI KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN AGREGAT HALUS *COPPER SLAG*

Maria Asunta Hana¹, Siswadi²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil-FT, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

²Dosen Program Studi Teknik Sipil-FT, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

ABSTRAK

Beton sebagai bahan bangunan telah lama dikenal. Kelebihan beton dalam hal menahan kuat tekan dan kemudahannya untuk dibentuk sesuai kebutuhan menjadikan beton sebagai bahan bangunan yang sangat umum dipakai. Dan kebutuhan akan beton sebagai bahan bangunan sekarang ini terus menerus meningkat sedangkan keberadaan sumber alam terus menipis, untuk itulah perlu dipikirkan bagaimana cara mengembangkan alternatif pengganti material yang dapat digunakan sebagai salah satu material dalam pembuatan beton. Penelitian ini menggunakan *copper slag* yang merupakan limbah pengolahan tembaga sebagai pengurang jumlah pasir dalam adukan beton. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Dengan benda uji berjumlah 90 buah dan persentase pengurangan jumlah pasir sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kuat tekan dan modulus elastisitas beton antara beton *copper slag* dan beton normal.

Kata kunci: *copper slag*, kuat tekan, modulus elastisitas

A. PENDAHULUAN

Beton sebagai bahan bangunan telah lama dikenal. Kelebihan beton dalam hal menahan kuat tekan dan kemudahannya untuk dibentuk sesuai kebutuhan menjadikan beton sebagai bahan bangunan yang sangat umum dipakai. Dan kebutuhan akan beton sebagai bahan bangunan sekarang ini terus menerus meningkat sedangkan keberadaan sumber alam terus menipis, untuk itulah perlu dipikirkan bagaimana cara mengembangkan alternatif pengganti material yang dapat digunakan sebagai salah satu material dalam pembuatan beton. Alternatif yang dapat diambil yaitu dengan memanfaatkan kembali limbah dari industri yang memungkinkan dapat digunakan sebagai salah satu material penyusun beton.

Limbah-limbah industri tersebut antara lain seperti *fly ash*, *copper slag* dan abu ampas tebu. Limbah-limbah industri tersebut seolah-olah dapat dikatakan tidak mempunyai nilai ekonomis padahal jika limbah tersebut digunakan sebagai campuran beton dalam konstruksi bangunan maka terdapat dampak positif yang dapat diperoleh yaitu meningkatkan durabilitas beton serta mengurangi pencemaran lingkungan (Triwulan, 2005).

Limbah *copper slag* adalah salah satu material alternatif pengganti agregat dalam beton yang dapat menunjang dalam pembangunan konstruksi. *Copper slag* merupakan limbah buangan dari pengolahan tembaga yang berbentuk pasir. Penggunaan limbah *copper slag* sebagai pengganti pasir sebagai agregat halus diharapkan dapat dipakai dalam campuran beton. Oleh karena itu penggunaan *copper slag* sebagai agregat halus dalam campuran beton perlu diteliti agar dapat diketahui kekuatan beton yang dihasilkannya.

Agregat buatan umumnya dibuat dari pecahan bata/genteng yang bersih atau terak dingin dari tanur tinggi (*blast-furnace-slag*). Agregat buatan yang lain misalnya :

expanded shale, expanded slag, cinder. Terak dingin ialah hasil sampingan dari pembakaran bijih besi pada tanur tinggi, yang didinginkan pelan-pelan di udara terbuka. Pemilihan terak dingin secara cermat dapat menghasilkan beton yang baik, dan mungkin malah lebih baik daripada beton dengan agregat alami biasa. Betonnya juga lebih tahan bakar, akan tetapi dapat menyebabkan bajanya cepat berkarat karena kandungan belerang yang ada dalam teraknya (Tjokrodimuljo, 1992).

Penelitian dengan menggunakan *copper slag* sebagai campuran agregat halus dengan presentase 40% dari total agregat halus dan fas sebesar 0,55 diperoleh tingkat kerusakan kekuatan beton yang terjadi pada beton *copper slag* lebih kecil dibanding beton tanpa *copper slag*. Demikian juga modulus elastisitasnya berkurang untuk beton *copper slag*. Pengujian tersebut dilakukan pembakaran sesuai dengan ASTM EI 19-88 dengan suhu puncak 200, 400, 600, 800, 1000° C (Kartini, 2003).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *copper slag* (terak tembaga) berpotensi digunakan sebagai salah satu material produksi beton mutu tinggi (Bermansyah, 2005).

Dalam penelitian ini akan diuji kuat tekan dan modulus elastisitas dengan menggunakan benda uji berupa silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dengan mutu f_c' 40 MPa dan persentase pengurangan jumlah pasir dengan kelipatan 10 %, 20 %, 30 %, 40%, 50%. Sedangkan benda uji dalam kondisi normal (tanpa *copper slag*) digunakan untuk membandingkan penurunan dan atau peningkatan beton dengan agregat halus *copper slag*. Sehingga dapat diketahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas dari setiap persentase yang berbeda.

B. LANDASAN TEORI

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin desak (SK SNI M-14-1989-F).

Sifat utama beton adalah memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton menahan beban dibagi dengan luas permukaan beton sampai menyebabkan benda uji tersebut hancur apabila dibebani sebesar gaya tertentu. Kualitas beton yang tinggi dapat dilihat dari kuat tekannya, bila semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan, maka semakin tinggi pula kualitas beton tersebut (Mulyono, 2004).

Kuat tekan suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menahan beban atau gaya desak yang dikenakan per satuan luas. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban desak bertingkat terhadap benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan desak tertinggi (f'_c) pada saat regangan beton $\pm 0,002$ yang dicapai benda uji umur 28 hari (Dipohusodo, 1996).

$$f'_{ci} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan : F = beban desak maksimum (N)
 A = luas bidang desak benda uji (mm^2)

$$f'_{ci} = \text{kuat desak dari masing-masing benda uji (MPa)}$$

Modulus Elastisitas Beton

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu (Murdock dan Brook, 1986).

ASTM C 469 juga menggunakan rumus yang sama dengan SNI 03-4169-1996 dalam menghitung nilai modulus elastisitas. Perbedaannya jika perhitungan menggunakan ASTM C 469 perpendekan yang terbaca pada kompresometer terlebih dulu dibagi dua baru dilakukan analisis modulus elastisitasnya.

Berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Selanjutnya, karena beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk modulus elastisitas. Dengan menggunakan Gambar 3.3, yang menyajikan suatu kurva tegangan-regangan ciriannya untuk beton diperlihatkan modulus awal, modulus tangen (tangent modulus), dan modulus sekan (secant modulus). Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50% dari kekuatan tekan f'_c diambil sebagai modulus elastisitas. Untuk selama bertahun-tahun modulus elastisitas didekati dengan harga 1000 f'_c oleh peraturan ACI; akan tetapi dengan penggunaan dari beton ringan yang maju pesat, maka variable kerapatan (*density*) perlu diikuti.

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = 0.043w_c^{1.50} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2)$$

- dimana, E_c = modulus elastisitas beton desak (MPa)
- w_c = berat isi beton
- f'_c = kuat desak beton (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 dan 2500 kgf/m³. Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi ± 23 kN/m³ dapat digunakan nilai sebagai berikut (Dipohusodo, 1996) :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3)$$

- Keterangan: E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)
- f'_c = kuat tekan beton (MPa)

Perhitungan modulus elastisitas beton secara umum dapat dituliskan sebagai berikut (Antono, 1993):

$$E = \frac{f}{\epsilon} \dots\dots\dots(4)$$

$$f = \frac{P}{A_o} \dots\dots\dots(5)$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- E = modulus elastisitas beton tekan (MPa)
- f = tegangan (MPa)
- ε = regangan
- P = beban desak (N)
- A_0 = luas tampang beton (mm²)
- L = panjang ukur (yang memendek) sewaktu ada tegangan (mm)
- l_0 = panjang awal benda uji (mm)
- Δl = perubahan panjang benda uji (mm)

Selanjutnya hubungan f dan ε dapat digabungkan dalam grafik untuk menentukan nilai modulus elastisitas (E). Berdasarkan hukum *Hooke*, nilai modulus elastisitas dapat dicari menggunakan rumus:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

- σ = tegangan (MPa)
- E = modulus elastisitas (MPa)
- ε = regangan

C. METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Pada penelitian ini dipakai percobaan langsung di laboratorium.

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pembatasan-pembatasan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

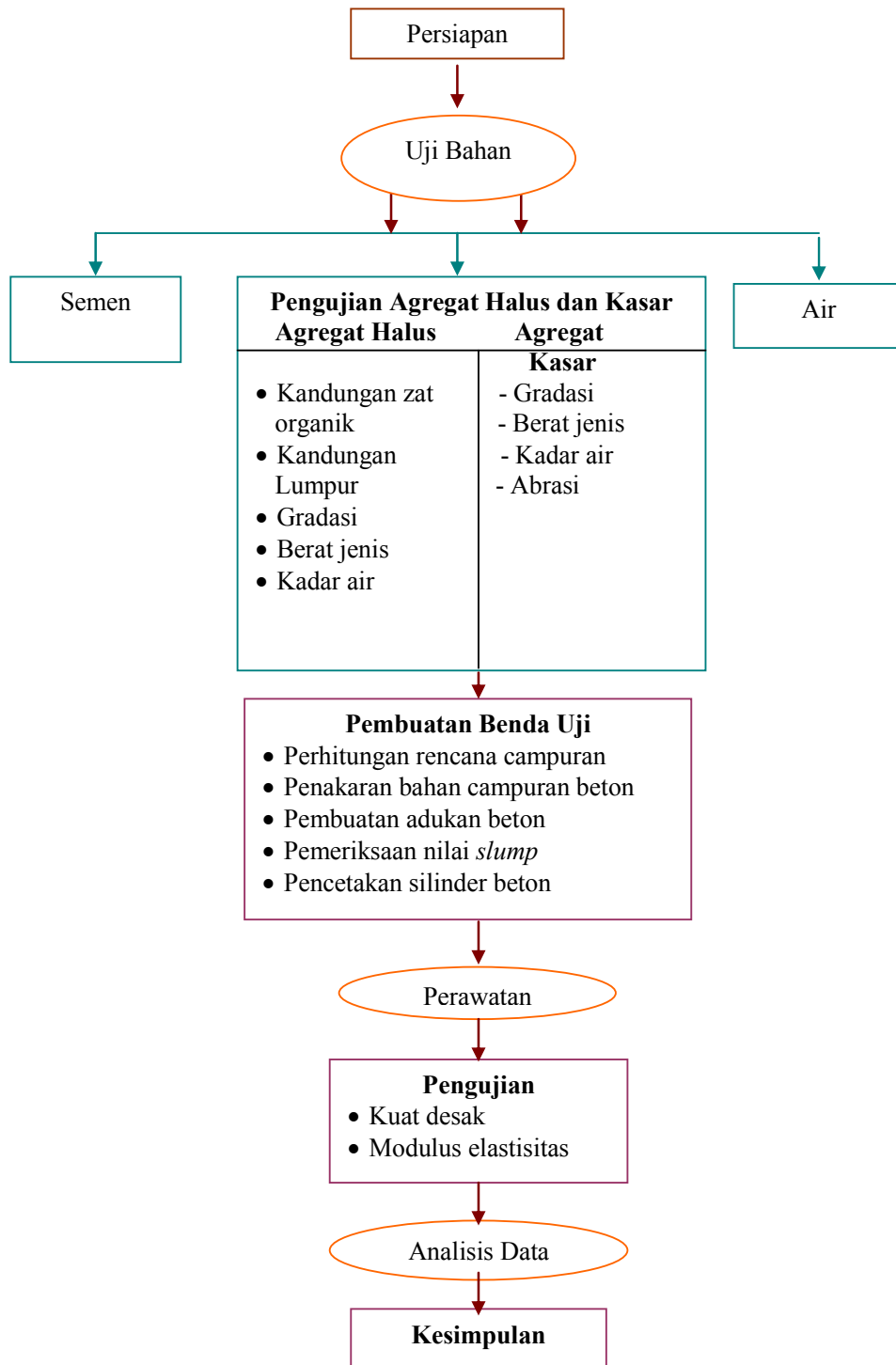
Tabel 1. Data-data penelitian

Data-data	Beton Normal	Beton <i>Copper Slag</i>
Agregat halus	Pasir alam Merapi, Yogyakarta	<i>Copper Slag</i> PT. Smelting Gresik Jawa Timur
Agregat kasar	Kerikil Pecah Clereng, Kulon Progo	Kerikil Pecah Clereng, Kulon Progo
Berat jenis pasir alam	2,5164 gr/cm ³	
Berat jenis <i>copper slag</i>	3,7145 gr/cm ³	
Mutu beton	40 MPa	
Semen	Portland Cement type I, Gresik	
Benda uji	Silinder, diameter 150 mm dan tinggi 300 mm	
Persentase pengurangan	10%, 20%, 30%, 40%, 50% (dari berat pasir)	
Pengujian kuat tekan	7, 14, 28 hari	
Pengujian modulus elastisitas	28 hari	

Jumlah total benda uji 90 buah yaitu 15 buah beton normal untuk setiap masing-masing umur berjumlah 5 buah benda uji dan untuk persentase pengurangan jumlah pasir dengan kelipatan 10%, 20%, 30%, 40%, 50% sebanyak 75 buah yang masing-masing berjumlah 5 benda uji untuk setiap umurnya. Penelitian dilakukan di

Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Garis besar pelaksanaan penelitian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan agregat halus *copper slag* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Beton

Untuk membuat suatu adukan beton perlu diketahui komposisi bahan penyusun beton. Perhitungan campuran beton dilakukan berdasarkan perancangan adukan beton normal SNI.T-15-1990-03. Kebutuhan bahan susun beton ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Bahan Susun Beton per m³

Kode	Berat (Kg)				
	Semen	Kerikil	Pasir	Copper Slag (Agregat Halus)	Air
Beton Normal	620,9	944,5	554,7	-	204,9
Beton Copper Slag 10%	620,9	944,5	499,2	81,9	204,9
Beton Copper Slag 20%	620,9	944,5	443,8	163,8	204,9
Beton Copper Slag 30%	620,9	944,5	388,3	245,6	204,9
Beton Copper Slag 40%	620,9	944,5	332,8	327,5	204,9
Beton Copper Slag 50%	620,9	944,5	277,4	409,4	204,9

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, 28 hari dengan variasi persentase pengurangan jumlah pasir 10%, 20%, 30%, 40%, 50% ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan prosentase peningkatan kekuatan beton pada umur 28 hari ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton

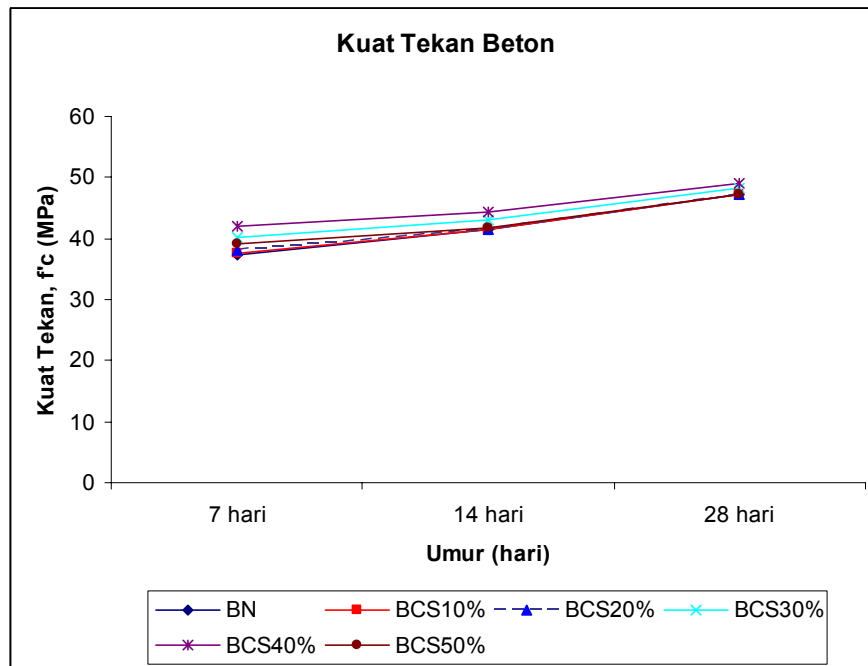
Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BN	37,3508	41,5441	47,1513
BCS10%	37,6369	41,5865	47,1974
BCS20%	38,0690	41,5897	47,2105
BCS30%	40,0659	43,0348	48,1530
BCS40%	42,0840	44,4065	49,0068
BCS50%	39,0700	41,7661	47,2849

Tabel 5. Kuat Tekan Beton Pada Umur 28 hari

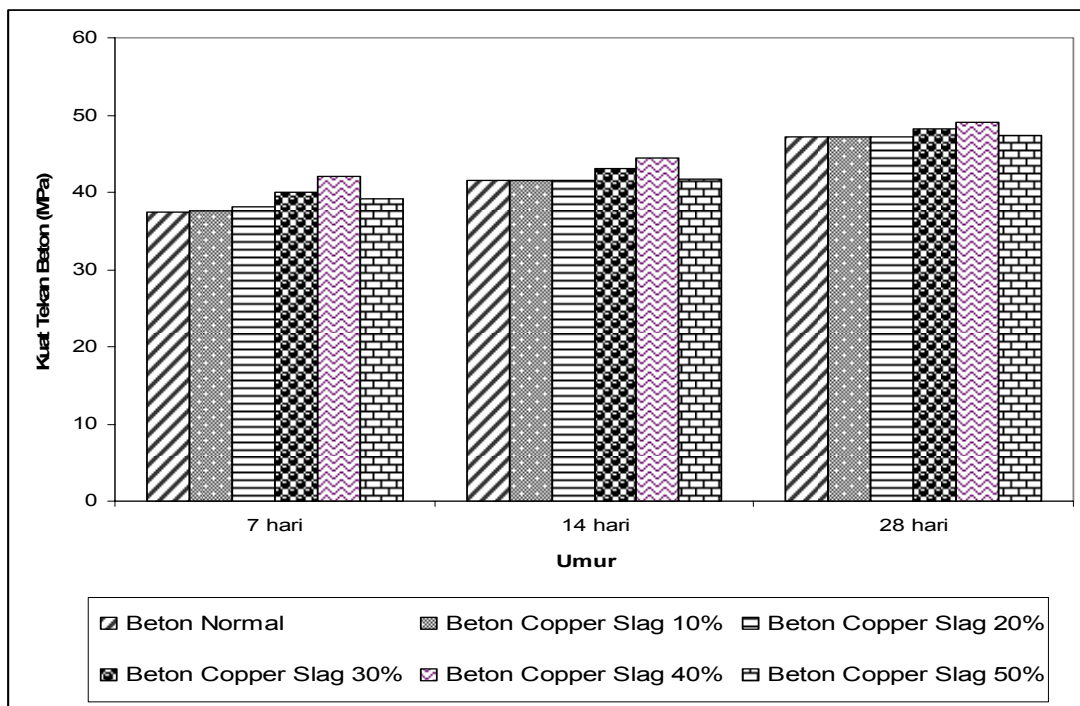
Benda Uji	fc' rerata	Peningkatan Kuat tekan
BN	47,1513	-
BCS10%	47,1974	0,0977 %
BCS20%	47,2105	0,1255 %
BCS30%	48,1530	2,1243 %
BCS40%	49,0068	3,9351 %
BCS50%	47,2849	0,2832 %

Keterangan : BN : Beton Normal
BCS : Beton Copper Slag

Dari Tabel 5. dapat dilihat bahwa besarnya peningkatan kuat tekan beton dengan persentase 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dibandingkan dengan beton normalnya adalah: 0,0977 %, 0,1255 %, 2,1243 %, 3,9351 %, 0,2832 %. Dari hasil pengujian menunjukkan kandungan *copper slag* sebesar 40% memperoleh kuat tekan tertinggi. Dilihat dari hasil pengujian kuat tekan serta peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari, menunjukkan peningkatan yang tidak cukup signifikan. Grafik perbandingan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton



Gambar 3. Diagram Perbandingan Kuat Tekan Beton

Modulus Elastisitas

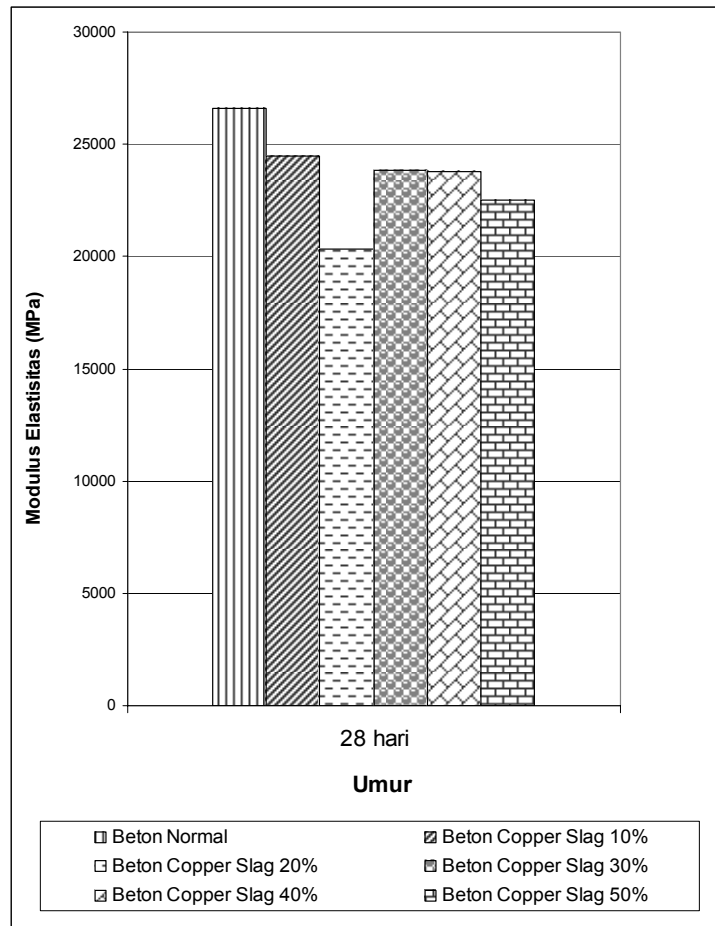
Untuk menghitung modulus elastisitas ada beberapa cara yang dapat digunakan, antara lain dengan menggunakan SNI 03-4169-1996, ASTM C 469 dan buku desain beton bertulang (Wang & Salmon, 1986).

Berbeda dengan material lain, seperti baja, beton memiliki modulus elastisitas yang berbeda-beda dan berubah-ubah menurut kekuatannya. Selain itu modulus elastisitas juga bergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. Selanjutnya, karena beton memiliki deformasi yang permanen, yaitu bentuk tidak dapat kembali seperti semula setelah dibebani walau sekecil apapun beban tersebut diberikan, maka biasanya ada beberapa definisi dari modulus elastisitas beton. Yaitu modulus awal, modulus sekan (*secant modulus*), dan modulus tangen (*tangent modulus*). Biasanya nilai modulus sekan pada 25-50% dari kekuatan desak f'_c diambil sebagai modulus elastisitas beton. Nilai-nilai yang tertera pada Tabel 6 juga memiliki nilai 25 % dari kuat desak beton (Wang & Salmon, 1986, halaman 14). Analisis modulus elastisitas menggunakan modulus sekan (Wang & Salmon, 1986), tidak dilakukan menggunakan SNI 03-4169-1996 dan ASTM C 469. Hal ini dikarenakan nilai S_2 (kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum) tidak terdapat dalam tabel tegangan-regangan.

Tabel 6. Modulus Elastisitas Silinder Beton Fas 0,33

Jenis	Kode	$E_{25\%}$ (MPa)	Perubahan (%)
Beton Normal	BN2	26.587,54	-
Beton <i>Copper Slag</i> 10%	BCS4	24.461,02	-7,9982
Beton <i>Copper Slag</i> 20%	BCS2	20.346,75	-23,4726
Beton <i>Copper Slag</i> 30%	BCS1	23.824,70	-10,3915
Beton <i>Copper Slag</i> 40%	BCS3	23.780,42	-10,5580
Beton <i>Copper Slag</i> 50%	BCS5	22.529,04	-15,2647

Untuk silinder beton normal didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 26.587,5456 MPa. Sedangkan untuk silinder beton agregat halus *copper slag* didapatkan nilai modulus elastisitas secara berturut-turut untuk *copper slag* 10% sebesar 24.461,02 MPa, *copper slag* 20% sebesar 20.346,75 MPa, *copper slag* 30% sebesar 23.824,70 MPa, *copper slag* 40% sebesar 23.780,42 MPa, *copper slag* 50% sebesar 22.529,04 MPa. Nilai modulus elastisitas ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar 4 Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari

Dari Gambar 4. dapat dilihat bahwa modulus elastisitas untuk beton *copper slag* lebih kecil dibandingkan dengan beton normal.

Berat Jenis

Berat jenis masing-masing beton pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 7. dimana berat jenis rerata adalah rata-rata dari berat jenis beton tiap variasi pengujian untuk setiap umur maupun persentase dari beton normal maupun beton *copper slag* yang berjumlah 90 silinder.

Tabel 7. Berat Jenis Rata-Rata Tiap Variasi Pengujian Beton

No	Benda Uji	Berat Jenis	Peningkatan Berat Jenis
1	BN	2,3091	-
2	BCS10%	2,3588	2.152
3	BCS20%	2,3744	2.828
4	BCS30%	2,4004	3.954
5	BCS40%	2,4203	4.816
6	BCS50%	2,4463	5.942

Berat jenis beton normal rata-rata sebesar $2,3091 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan untuk beton *copper slag* nilainya lebih besar dibandingkan dengan beton normal, secara berturut-turut yaitu untuk BCS 10% sebesar $2,3588 \text{ gr/cm}^3$, BCS 20% sebesar $2,3744 \text{ gr/cm}^3$,

BCS 30% sebesar 2,4004 gr/cm³, BCS 40% sebesar 2,4203 gr/cm³, dan BCS 50% sebesar 2,4463 gr/cm³. Akan tetapi baik beton normal maupun beton *copper slag* memenuhi kriteria berat jenis beton normal yang memiliki berat jenis rata-rata antara 2,30-2,50 gr/cm³. Hal ini mungkin dikarenakan penggunaan jumlah *copper slag* hanya sebesar 10-50% saja dari berat pasir.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- a. Berat jenis *copper slag* sebesar 3,7145 gr/cm³, lebih besar dibandingkan dengan berat jenis pasir yaitu 2,5164 gr/cm³, sehingga berat jenis beton *copper slag* lebih besar dibanding beton normal.
- b. Nilai kuat tekan beton *copper slag* lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Kuat tekan beton *copper slag* umur 28 hari dengan persentase 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% berturut-turut sebesar 47,1974 MPa, 47,2105 MPa, 48,1530 MPa, 49,0068 MPa dan 47,2849 MPa. Sedangkan untuk beton normal umur 28 hari sebesar 47,1513 MPa.
- c. Besarnya peningkatan kuat tekan pada beton *copper slag* umur 28 hari untuk persentase 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dibandingkan dengan beton normal berturut-turut adalah 0,0977 %, 0,1255 %, 2,1243 %, 3,9351 %, 0,2832 %.
- d. Modulus elastisitas beton *copper slag* lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Modulus elastisitas beton *copper slag* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% berturut-turut sebesar 24.461,02 MPa, 20.346,75 MPa, 23.824,70 MPa, 23.780,42 MPa dan 22.529,04 MPa. Sedangkan untuk beton normal sebesar 26.587,5456 MPa.
- e. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *copper slag* layak digunakan sebagai pengurang jumlah agregat halus dalam beton. Hal ini ditunjukkan dengan hasil yang diperoleh bahwa beton *copper slag* memenuhi kriteria beton normal, untuk nilai kuat tekannya mengalami kenaikan (meskipun tidak signifikan) untuk semua persentase jika dibandingkan dengan beton normal dan untuk modulus elastisitasnya nilai yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan beton normal.

Saran

- a. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut beton *copper slag* sebagai beton mutu tinggi dengan menggunakan bahan tambah, mengingat berat jenis copper slag yang lebih tinggi dibanding agregat alam
- b. Lingkup dari penelitian yang dilakukan hanya mencakup sifat mekanik saja masih perlu penelitian lebih lanjut mengenai keawetan, stabilitas dan lain-lain.

F. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Anonim, 1990, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SK SNI T-15-1990-03), Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.

- 2) Anonim, 1996, Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis Dan Rasio Poison Beton Dengan Kompresor Ekstensometer (SNI 03-4169-1996), Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- 3) Antono, A., 1995, Teknologi Beton, Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- 4) ASTM, 1996, Annual Book of ASTM Standards vol 04.02. Concrete and Aggregates, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- 5) Bermansyah, Surya, 2005, Perilaku Mekanik Dan Durabilitas Beton Mutu Tinggi Dengan Campuran Copper Slag Sebagai Cementitious, diakses 11 Juli 2007, www.its-unioncatalogue.com.
- 6) Dipohusodo, I., 1996, Struktur Beton Bertulang, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- 7) Kartini, Wahyu, 2003, Perubahan Sifat Fisik dan Kimia Beton Mutu Normal dengan Agregat Halus Campuran Copper Slag Pasca Kebakaran, diakses 11 Juli 2007, www.its-unioncatalogue.com.
- 8) Murdock, L. J., Brook, K. M., dan Hindarko, S., 1986, Bahan dan Praktek Beton, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- 9) Tjokrodimuljo, K., 1992, Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- 10) Triwulan, 2005, Tingkatkan Nilai Ekonomis Limbah, diakses 11 Juli 2007, www.its-unioncatalogue.com.
- 11) Wang, C. K., Salmon, C. G., dan Binsar, H., 1990, Disain Beton Bertulang, Edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.

KoNTekS 2

Konferensi Nasional Teknik Sipil 2