



**KAJIAN BETON MUTU TINGGI MENGGUNAKAN
SLAG SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN AGREGAT
KASAR DENGAN APLIKASI SUPERPLASTICIZER DAN
SILICAFUME**

TESIS

**Diajukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan
pada Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

ALI ACHMADI

NIM L4A002043

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2009**

ABSTRACT

The Purposes of this research were detects correlation prosentase substitusi aggregate slag concrete quality optimum, where does soft aggregate use and coarse from slag as proper aggregate to fulfill a concrete construction with special spesification. aggregate use slag can optimize deposit solid slag from steel fusion factory be tall quality concrete aggregate, this research uses slag in the place of soft aggregate and coarse by using method doe then substitution prosentase mixture as big as 0%,20%,40%,60%,80% and 100% from heavy sand and broken stone, with sikament. In 1% and sikafume 3% from heavy cement. cylinder formed test thing with age that soaking system treatment 28 days.

Research result demoes compressive strength highest achieved in prosentase slag 60%, that is 671.57 kg/cm² or rise as big as 9.2 % from prosentase slag 0%, in tensile strength highest achieved in prosentase slag 60%, that is 43.62 kg/cm² or rise 8.5% from prosentase slag 0%, for smallest value porosity testing in prosentase slag 60%, that is 0.98% lower 13.8% from prosentase slag 0%. at the height of substitusi slag value modulus elasticity inclined more lower, value modulus bottommost elasticity in substitusi slag 60% as big as 20056 mpa.

keyword: *soft aggregate, coarse aggregate, slag, sikamen ln, sikafume, compressive strength, tensile strength, porosity, modulus elasticity.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah bahan bangunan yang tersusun oleh agregat (pasir + batu), semen dan air (bisa ditambah bahan lain additive atau admixture). Untuk membuat beton bermutu tinggi ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu :

1. Material
2. Proporsi campuran
3. Pengerjaan

Dari ketiga faktor tersebut material merupakan sumber daya alam yang lama kelamaan akan habis dan tidak dapat diperbaharui, permasalahan inilah yang akan dicarikan alternatif penggantinya. Alternatif pengganti material digunakan *slag* (limbah padat).

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan oleh industri peleburan baja salah satunya berupa limbah *slag* yang secara fisik menyerupai agregat kasar. Seiring dengan semangat pelestarian lingkungan, maka perusahaan penghasil limbah *slag* mencari solusi pemanfaatan limbah *slag* tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya limbah *slag* dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam bahan konstruksi dan campuran perkerasan aspal.

Karakteristik dari limbah padat (*slag*) yaitu :

1. Karakteristik Fisik

Limbah padat (*slag*) mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya. Limbah padat (*slag*) merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran gradasi limbah padat (*slag*) lebih mendekati ukuran agregat kasar 2/3.

2. Karakteristik Kimia

Komposisi kimia limbah padat (*slag*) pada PT. Inti General Yaja Steel, Semarang dari hasil analisis pengujian Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan Semarang, dapat disesuaikan pada tabel 1.1 dibawah ini.

Tabel 1.1. Komposisi kimia dari limbah padat (*slag*)

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode Uji
I	LOGAM BERAT			
1	Arsen (As)	mg/ kg	< 0.188	destruksi SM.3114 B
2	Barium (Ba)	mg/ kg	< 3.931	destruksi SM.3111 D
3	Boron (B)	mg/ kg	< 1.965	destruksi SM.4500-BC
4	Cadmium (Cd)	mg/ kg	< 0.118	destruksi SM.3111 B
5	Chromium (Cr)	mg/ kg	49.25	destruksi SM.3111 B
6	Copper (Cu)	mg/ kg	48.42	destruksi SM.3111 B
7	Lead (Pb)	mg/ kg	< 1.179	destruksi SM.3111 B
8	Mercury (Hg)	mg/ kg	< 0.393	destruksi SM.3112 B
9	Selenium (Se)	mg/ kg	< 0.118	destruksi SM.3114 B
10	Silver (Ag)	mg/ kg	< 1.179	destruksi SM.3111 B
11	Zinc (Zn)	mg/ kg	28.62	destruksi SM.3111 B

Metode uji mengacu pada : - *Standard Methods for the Examination of water and waste*,
APHA, AWWA, WEF

(Sumber : TA Vena-Zuni : 2006)

Tabel 1. 2. Pengukuran X-ray diffraction komposisi kimia slag dalam (%)

No.	Parameter/ Senyawa	Komposisi (%)
1	Ca O	42.3%
2	Si O ₂	26.56%
3	Mg O	13.70%
4	Al ₂ O ₃	5.79%
5	Fe ₂ O ₃	5.40%
6	Cr ₂ O ₃	2.66%
7	Mn O	1.73%
8	Ti O ₂	1.05%
9	C	0.50%
10	F	0.34%
11	S	0.16%
12	Zr O ₂	0.11%
13	Na O ₂	0.06%
14	H	0.06%
15	K ₂ O	0.04%
16	CL	0.02%
17	P ₂ O ₅	0.02%
Total		100.22%

(Sumber <http://www.free patents online.com/y2008/0017077.html>)

Dari komposisi kimia limbah padat (*slag*) diatas, sangat jelas bahwa limbah padat (*slag*) termasuk dalam limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya).

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian beton mutu tinggi *slag* sebagai agregat halus dan kasar adalah :

- a. Untuk mengetahui karakteristik mekanis beton mutu tinggi, dengan pemakaian slag sebagai agregat halus dan agregat kasar, pada pengujian kuat tekan, tarik, porositas dan modulus elastisitas.
- b. Untuk Mengetahui korelasi prosentase substansi agregat slag mutu beton yang optimum.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain :

1. Dapat memberikan informasi kepada akademisi dan industri peleburan baja, tentang bahan alternatif limbah *slag* yang digunakan sebagai agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton, serta pengaruh terhadap lingkungan.
2. Menaikkan nilai ekonomis kepada industri peleburan baja hasil dari limbah *slag*, yang digunakan sebagai campuran beton.
3. Dapat mengatasi permasalahan pembuangan limbah dari industri peleburan baja yang dapat digunakan sebagai material alternatif.
4. Memberi kontribusi untuk perkembangan ilmu dan teknologi tentang material beton.
5. Menurunkan ketergantungan penggunaan material agregat halus dan agregat kasar dari alam.
6. Hasil akhir digunakan untuk beton mutu tinggi dari limbah *slag* sebagai campuran beton.

1.4. Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat terarah sesuai tujuan yang diharapkan, dipakai anggapan dasar dan batasan bahan penelitian sebagai berikut :

- a. Limbah padat (*slag*) berasal dari industri peleburan baja PT. Inti General Yaja Steel, Semarang.
- b. Komposisi limbah padat (*slag*) digunakan sebagai agregat halus dan agregat kasar pada beton + *superplastizer*, *silica fume* dengan beberapa variasi prosentase.
- c. Parameter pengujian adalah kuat tekan, kuat tarik, porositas, modulus elastisitas.
- d. Komposisi limbah padat (*slag*) sebagai agregat halus dan agregat kasar pada beton dimana antara kerikil dan *slag* (pasir dari *slag*) mendapat perlakuan yang sama.
- e. Tinjauan Keadaan Absorpsi agregat disetiap proporsi diabaikan.
- f. Subtitusi tidak memperhatikan kesamaan gradasi.
- g. FAS tidak terkoreksi.
- h. Prosentase subtitusi agregat halus = agregat kasar
- i. Semen menggunakan PPC.
- j. Penelitian dilakukan pada skala dilaboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Materi yang dibahas berdasarkan referensi atau peraturan mengenai teknologi beton, yaitu :

- * Teori beton
- * Limbah padat (*slag*)
- * Material pada beton
- * Bahan tambahan
- * Mix design
- * Penelitian sejenis yang pernah dilakukan

2.2. Teori Beton

(SKSNI T-15-1990-03:1) Definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa padat. *Nawy* (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. *Neville dan Brooks* (1987) Definisi lain ditinjau dari keragaman material pembentuk beton yaitu bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak tanur tinggi, serat dan lain-lain.

Sesuai perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, menurut *Supartono* (1998) ternyata kriteria beton tinggi juga berubah sesuai dengan perkembangan jaman, beton dikatakan mutu tinggi jika kekuatan tekannya di atas 50 Mpa dan di atas 80 Mpa adalah beton mutu sangat tinggi.

Ada beberapa fakta yang mempengaruhi kekuatan beton mutu tinggi, yaitu :

1. Faktor Air Semen (FAS)

Tri mulyono (2004) Secara umum, semakin besar nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian untuk menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi FAS dalam beton haruslah rendah, sayangnya hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan. Umumnya nilai FAS minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan nilai maksimal 0,65.

Tujuan pengurangan FAS ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, *Supartono* (1998) FAS dapat diartikan sebagai *meter to comentionous ratio*, yaitu berat air terhadap berat total semen dan *aditif comentionous* yang umumnya di tambahkan pada campuran beton mutu tinggi.

2. Kualitas Agregat

Menurut *Larrad* (1990), Umumnya agregat halus mempunyai modulus halus butiran (MHB) sekitar 1,50-3,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai $2,5 < MHB < 3,0$ umumnya menghasilkan beton mutu tinggi dengan FAS yang rendah dan mempunyai kekuatan tekan dan kelecakan yang optimal.

Ukuran butir agregat maksimum juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Hasil penelitian *Larrad* (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan arti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan di perolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya.

3. Bahan Tambahan

Pengurangan kadar air dalam pembuatan beton mutu tinggi menjadi perhatian penting. Dengan bahan tambahan yang dapat mengurangi air sangat tinggi seperti *superplasticizer* diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi, penggunaannya disesuaikan dengan standart ASTM C 494 type F.

4. Kontrol Kualitas

Untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi, faktor kontrol terhadap kualitas proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan mutlak menjadi perhatian penting.

2.3. Limbah Padat (*slag*)

Menurut *Paul. N, Antoni* (2007) *Slag* merupakan bahan sisa dari pengecoran besi (*piq iron*), dimana prosesnya memakai dapur (*furnance*) yang bahan bakarnya dari udara yang ditiupkan (*blast*). Pada peleburan Baja, biji besi atau besi bekas dicairkan dengan

kombinasi batu gamping, delomite atau kapur, pembuatan baja dimulai dari dengan menghilangkan ion – ion pengotor baja, diantaranya alumonium, silicon dan phosphor. Untuk menghilangkan ion – ion pengotor tersebut, diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium, alumonium, silicon dan phosphor membentuk (*slag*) yang bereaksi pada temperature 1600° C dan membentuk cairan, bila cairan ini didinginkan maka akan terjadi kristal, dapat digunakan sebagai campuran semen dan dapat juga sebagai pengganti agregat.

ASTM (1995,494) *Slag* adalah Produk Non-metal yang merupakan matrial berbentuk halus sampai balok – balok besar, dari hasil pembakaran yang didinginkan. Menurut *Lewis* (1982) Keuntungan penggunaan limbah padat (*slag*) dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
- Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton
- Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
- Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
- Mengurangi serangan alkali-silika
- Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
- Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
- Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
- Mengurangi porositas dan serangan klorida

Menurut *Cain* (1994:505) Faktor-faktor untuk menentukan sifat penyemenan (*cementious*) dalam *slag* adalah komposisi kimia, konsentrasi alkali dan reaksi terhadap sistem, kandungan kaca dalam *slag*, kehalusan dan temperatur yang ditimbulkan selama proses hidrasi berlangsung.

2.4. Material pada Beton

Bahan material yang digunakan untuk agregat halus dan agregat kasar pada penelitian ini menggunakan bahan dari limbah padat *slag* yang dimodifikasi menjadi agregat halus dan agregat kasar yang disesuaikan syarat sesuai SII 0052-80.

2.5. Bahan Tambahan

Penelitian ini menggunakan *superplastizer*, diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, dengan *workability* tinggi penggunaannya disesuaikan dengan standart ASTM C.494 type F dan *silica fume* (SF). ASTM C.1240, 1995. 637-642, Pengaruh SF untuk memperbaiki struktur pori, mengakibatkan pengurangan permeabilitas berpengaruh pada sifat mekanis dan ketahanan penggunaannya disesuaikan dengan standart.

2.6. Mix Design

Beberapa metode dalam perancangan beton:

- 1) **Metode ACI (American Concrete Institute) Method**, mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air per kubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).
- 2) **Metode Road Note No.4**, cara perancangan ini ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pengerjaan.
- 3) **Metode SK.SNI T-15-1990-03./ Current British Method (D0E)**, disusun oleh British Department of Environment pada tahun 1975 untuk menggantikan Road Note.4 di Inggris. Untuk kondisi di Indonesia telah diadakan penyesuaian pada besarnya variasi kuat tekan beton.
- 4) **Metode campuran Coba-coba**, cara coba-coba dikembangkan berdasarkan cara metode ACI, Road Note No.4 dan SK.SNI T-15-1990-03, setelah dilakukan pelaksanaan dan evaluasi. Cara ini berusaha mendapatkan pori-pori yang minimum atau kepadatan beton yang maksimum artinya bahwa kebutuhan agregat halus maksimum untuk mendapatkan kebutuhan semen minimum.

2.7. Penelitian sejenis yang pernah dilakukan

Penelitian yang dilakukan Oleh (*Vena, Zuni, 2006*) bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan *slag* sebagai agregat kasar pada beton. Dengan proporsi Variasi *slag* 60%; 80%; 100%. Penelitian ini menggunakan benda uji silinder (15x30 cm) sebanyak 18 sampel per variasi dengan mutu $f'c$ 35 Mpa.

Hasil penelitian tersebut didapat Kuat tekan optimum pada variasi 100%, Kuat tarik optimum pada variasi 100%, Berat jenis beton berbanding lurus terhadap prosentase *slag*, Belum dapat ditentukan pola slump karena faktor yaitu suhu, agregat, faktor teknis, Penggunaan *slag* aman terhadap lingkungan, Harga beton berbanding terbalik terhadap prosentase *slag*.

Penelitian yang dilakukan oleh (*Lukman, Siti, 2007*) bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan *slag* sebagai agregat kasar pada beton.dengan proporsi campuran Variasi *slag* 0%; 10%; 30%; 50%; dan 70%. Penelitian ini menggunakan benda uji silinder (15x30 cm) sebanyak 40 sampel per variasi dengan mutu $f'c$ 35 Mpa.

hasil penelitian tersebut didapat Kuat tekan beton meningkat seiring dengan penambahan prosentase limbah padat (*slag*) dalam campuran beton, Slump yang menunjukkan tingkat workability, campuran ternyata semakin meningkat seiring bertambahnya prosentase limbah padat (*slag*), Air content semakin besar sebagai fungsi penambahan prosentase limbah padat (*slag*) dalam campuran beton, Kuat lentur beton meningkat seiring dengan perubahan prosentase limbah padat (*slag*) dalam campuran beton, Pemanfaatan limbah padat (*slag*) memberikan kontribusi positif terhadap segi ekonomi yaitu harga beton mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar prosentase *slag*.

Penelitian yang dilakukan oleh (*Violeta J. Petkova, 2002*) bertujuan mengetahui besaran kekuatan Tarik & Tekan dari masing – masing bahan Agregat Slag (*slag concrete/SC*) dan Agregat Alam (*natural concrete/ OC*) dan dibandingkan dengan hasil dari Rumusan Ferret, untuk Agregat dari Slag (*slag concrete/SC*). Yang kedua untuk mengetahui Besaran Berat Jenis Beton, dari komposisi/ Campuran yang bersasal dari Agregat slag dan Agregat Alam. Proses Pengujian dalam penelitian ini menggunakan Metode Mix Design dipakai standart BDS EN 206-1 Semen yang dipakia jenis “ Devnya” (DBS EN 196-1) Agragat halus dan Kasar dari Slag (*Slag Concrete/SC*), Agregat Halus dan Kasar dari Alam (*Natural Concrete/OC*), Benda uji kubus 15x15x15 cm Pembuatan benda uji kubus, dari Agragat halus dan kasar yang berasal dari Agragat Slag dan Agragat Alami di tambah Zat

Aditive (Ikaline dan Pozzolanic)), masing – masing 3 bh, untuk satu macam jenis Agregat, total benda uji kubus 6 bh, digunakan untuk mengetahui kuat tekan (R)Umur 1, 28, 365 hari.

Benda uji kubus dengan komposisi (1:2, 1:3,1:4) masing-masing 3 bh untuk satu macam jenis Agregat, total benda uji 6 bh, untuk mengetahui Berat Jenis Beton Antara bahan Agregat dari Slag dan Agregat Alam. Pembuatan Benda Uji Kubus, dengan kadar Agregat Halus Slag Komposisi (55%, 65% dan 75%) di uji umur (1, 28, 365 hari) masing – masing 1 benda uji, total 9 bh, digunakan untuk mengetahui kadar prosentasi Agregat halus terhadap kuat tekan (R) .

Hasil penelitian tersebut didapat Komposisi baru dari pengembangan Agregat halus beton Slag, yang mana terdiri dari additive dan Agregat buatan, sesuai dengan pembagian ukuran, kedua komponen tsb merupakan hasil Limbah Industri.

Agregat halus beton Slag mempunyai sifat Adhesi yang baik dan kuat tekan yang Tinggi, dimana kuat tekan kubus 60 Mpa, dengan Kuat Tarik diatas rata- rata 30% sampai 35% dari penggunaan Agregat halus dan kasar Alam, Nilai berat jenis beton dari agregat slag lebih tinggi(2.75 sampai 2.84 t/m³) dari pada dari Agregat alam (2.23 sampai 2.31t/m³)

Penelitian yang dilakukan oleh (*Celik Ozyildirim*) bertujuan mengetahui kuat tekan dan permeabilitas dari perbandingan / proporsi total matrial semen dalam campuran Beton, yang dicampur Agregat Slag dan Silica fume dengan perbandingan Tertentu. Proses pengujianya terdiri dari Mix Design Trial Mix (ditentukan dengan perbandingan tertentu), Semen Type II, III, Agregat (ASTM C 33), Agregat Halus, Agregat Kasar Max Ukuran Butir (25mm), Bahan Tambahan, Water-reducing (ASTM C 494 Tipe A), High Range Water Reducing (ASTM C 494 Tipe F), Test Air Content (ASTM C 231, pressure methode), Slump (ASTM C 143), Berat jenis (ASTM C 138), Benda uji silinder 100x200mm (ASTM C 1202) diuji pada umur 1, 7 dan 28 hari untuk uji tekan. Benda uji silinder 100x200mm (ASTM C 1202) diuji umur 28 hari dan 1 tahun, untuk uji Permeabilitas.

Proporsi Pertama terdiri dari 9 benda uji, dimana total jumlah semen dibagi menjadi 2 jenis bahan yaitu: PC/SLAG/SF dengan perbandingan tertentu, dimana proporsinya per m³ terdiri Agregat Kasar = 1103 kg/m³, Agregat halus = 651 kg/m³, Semen = Tipe III, HRWR = bervariasi berdasarkan berat semen (1-2%)(ASTM C494-F)

Proporsi Kedua terdiri dari 6 benda uji, yaitu 3 benda uji menggunakan semen Tipe II & III, benda uji dengan semen tipe III dengan total jumlah semen dibagi menjadi 3 jenis bahan yaitu; PC/Slag/SF dengan perbandingan tertentu, begitu pula untuk agregat halus dan agregat Kasar = 1103 kg/m³, HRWR= (ASTM C 494 –F). Dari proporsi pertama didapat kadar udara (%), Nilai slump (mm), Berat jenis (kg/m³) beton, dilanjutkan pengujian kuat

tekan dari masing – masing benda uji dengan proporsi beton pada umur 1, 7, dan 28 hari dan test Permeabilitas umur 28 hari dan 1 tahun. Hasil penelitian tersebut didapat Kuat Tekan Umur 1 Hari untuk semen murni didapat 27.6 Mpa, sedangkan Kuat Tekan dengan Kombinasi Slag dan Silica fume 8.5 Mpa, Kuat Tekan Umur 7 hari untuk semen murni didapat 37,2 Mpa, sedangkan Kuat Tekan dengan Kombinasi Slag dan Silica fume 32,1 Mpa, Kuat Tekan Umur 28hari untuk semen murni didapat 44.3 Mpa, sedangkan Kuat Tekan dengan Kombinasi Slag dan Silica fume 45.6 Mpa, Dengan Penambahan bahan *Slag* dan *Silica Fume* dapat memberikan Kontribusi kenaikan Kuat tekan Pada umur 28 hari, Untuk Nilai Permeabilitas pada umur 28 hari dari Proporsi semen tanpa tanpa kombinasi bahan tambahan dengan nilai 3814 coulombs, sedang proporsi bahan kombinasi 50% semen/ 43% *slag*/ 7% *silica fume* didapat nilai permeabilitas 645 *coulombs*, ini menunjukkan penambahan bahan slag & silica fume dengan perbandingan tersebut dapat menurunkan nilai permeabilitas.

Penelitian yang dilakukan oleh (*Sabrina sorlini, Carlo Collivignarelli, Giovanni Plizzari, Michele Delle Foglie*) untuk mengetahui Penggunaan agregat campuran *waelz slag* yang terdiri dari *fresh slag* dan *curved slag*, pengaruhnya terhadap kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas.

Proses Pengujian agregat *waelz slag* terdiri dari, *fresh slag, after water cooling* dan *curved slag mix Design* 2 Tahap, (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) Komposisi dari Beton Tahap. 1 terdiri dari 5 benda uji, benda uji no. 1 tanpa pemakaian agregat slag, benda uji no.2-3 dengan pemakaian agregat fresh slag, benda uji no. 4-5 dengan pemakaian agregat curved slag, untuk komposisi agregat alami, cement W/C dan slump terhadap (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) Tahap. 2 terdiri dari 9 benda uji, benda uji no. 6 dan 13 tanpa bahan campuran fresh slag, benda uji no. 7-12 dan 14 dengan campuran fresh slag pemakaian material lain yaitu agregat alam, cement, superplastizer dan W/C, slump dengan perbandingan tertentu (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) Pengujian benda uji meliputi, Pengujian kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas. Pengujian dilakukan umur beton 28 hari.

Hasil penelitian tersebut didapat Kuat tekan tertinggi untuk eksperimen tahap 1, terdapat pada benda uji no. 4 dengan agregat campuran curved slag berisi 200 kg/m³ dengan nilai kuat tekan 25 Mpa. (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) dan (F162), Kuat tekan tertinggi untuk eksperimen tahap 2, terdapat pada benda uji no. 9 dengan agregat campuran fresh slag berisi 600 kg/m³ dengan superplastizer 3 l/m³ dengan nilai kuat tekan 39 Mpa. (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) dan (F163), Besarnya kuat tekan terhadap proses curing (perawatan beton)

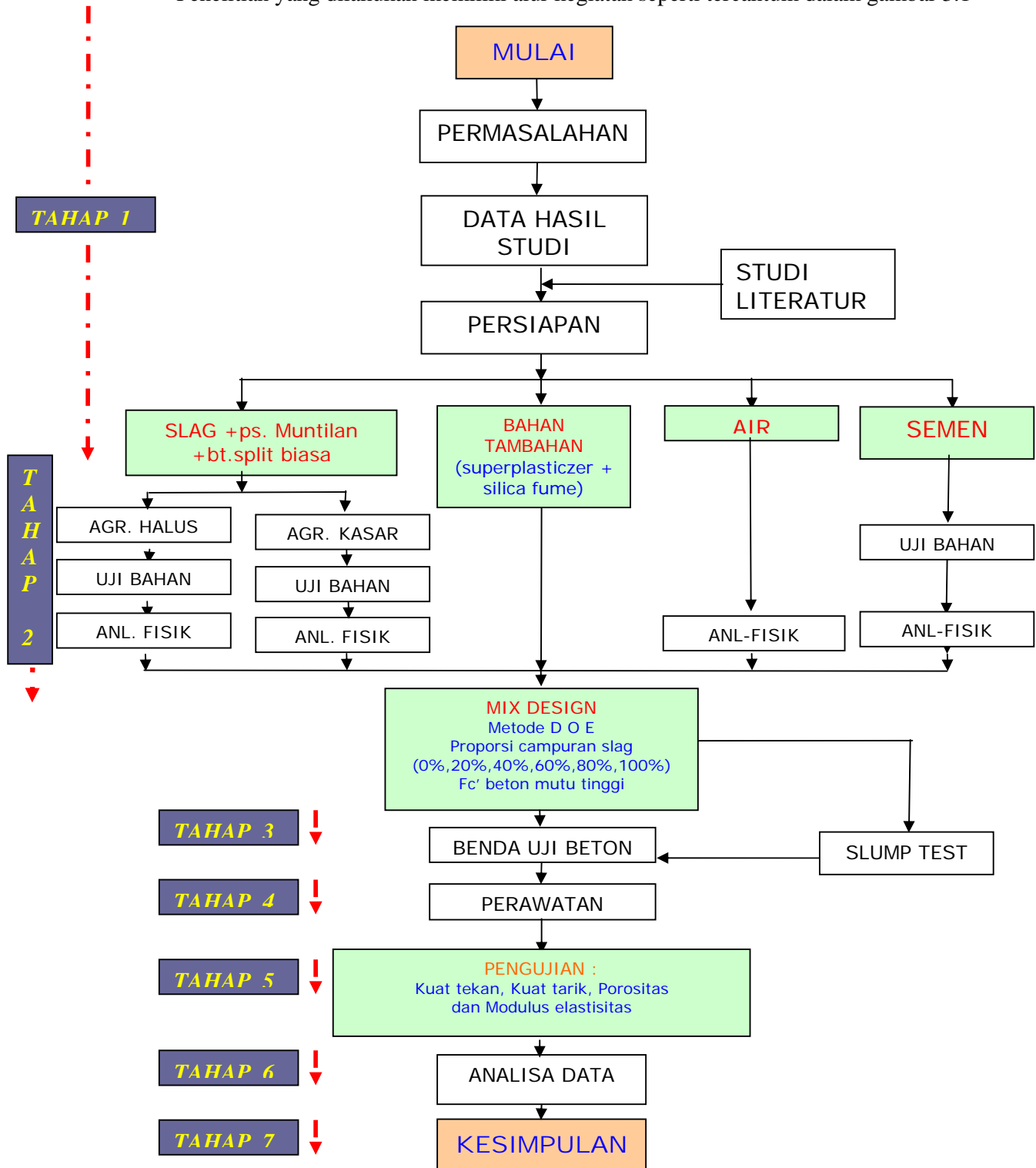
berdasarkan waktu dimana semakin besar waktu yang dibutuhkan semakin tinggi kuat tekan yang diperoleh, terdapat pada benda uji no. 9 (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) Hasil kuat tarik tertinggi pada tahap 2, terdapat pada benda uji no. 7 (table 1 Potenossa S.p.a, Italy) dengan agregat campuran berupa fresh slag dengan nilai 5,6 Mpa, Modulus elastisitas tertinggi dicapai pada benda uji no. 6 (table. 1 Potenossa S.p.a, Italy) dimana agregatnya tanpa bahan campuran *slag*.

Dari berbagai hasil penelitian diatas, penggunaan slag sebagai agregat kasar sudah dilaksanakan penelitian, maka dalam penelitian ini dilakukan aplikasi slag sebagai agregat halus dan agregat kasar, pada substitusi slag 0%,20%,40%,60%,80%dan 100% dengan aplikasi superplasticizer dan silicafume. Dan tinjauan pada pengujian kuat tekan, tarik, porositas dan modulus elastisitas.

BAB III METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki alur kegiatan seperti tercantum dalam gambar 3.1



Gambar 3.1. Diagram Alir Kegiatan

Penjelasan Alur kegiatan :

1. Tahap pertama

Pada tahap pertama dilakukan persiapan berdasarkan data hasil studi, studi literatur persiapan meliputi bahan maupun peralatan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji.

2. Tahap kedua

Pada tahap kedua dilakukan pengujian karakteristik bahan meliputi uji fisik pada masing-masing bahan yang dipergunakan, Penambahan bahan Tambahan berupa; Superplasticizer, dan Silica fume.

3. Tahap ketiga

Pada tahap ketiga dilakukan pembuatan benda uji. Adapun dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

Pembuatan campuran beton dengan metode DOE, ditetapkan $f'c$: 60 Mpa, kemudian hasilnya mixdesain disubtitusikan ke Proporsi benda uji dengan kandungan material slag: 0%, 20%, 40% ,60% ,80% , 100%. untuk masing-masing proporsi ditambah dengan bahan tambahan (superplastize) dan zat additive (silicafume).

4. Tahap keempat

Pada tahap keempat benda uji dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara dilakukan perendaman dalam air selama 28 hari.

5. Tahap kelima

Pada tahap kelima dilakukan pengujian terhadap kuat tekan, kuat tarik, porositas, dan modulus elastisitas..

6. Tahap keenam

Pada tahap keenam dilakukan analisa data.

7. Tahap ketujuh

Pada tahap ketujuh dapat ditarik kesimpulan terhadap semua hasil dari analisa.

3.2. Perencanaan Campuran (*mix design*) Berdasarkan DOE (*Departement of Environment*)

Perencanaan Campuran beton (*mix design*) menggunakan pedoman *DOE* (*Department of Environment*). berasal dari Inggris (*The British Mix Design Methode*), tercantum dalam *Design of Normal Concrete Mixes* telah menggantikan *Road Note No. 4* sejak tahun 1975. Di Indonesia cara ini dikenal dengan DOE. Perencanaan dengan cara DOE dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia dan dimuat dalam buku standar SK SNI T – 15 – 1990 .pemakaian metode DOE dikarenakan metode ini, yang paling sederhana dengan menghasilkan hasil yang akurat.diantaranya penggunaan rumus dan grafik yang simple dan kondisi agregat, waktu pencampuran beton pada kondisi yang SSD tanpa harus keadaan kering open.

Secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Menetapkan kuat tekan rata – rata yang ditargetkan.
- 2) Pemilihan faktor air semen.
- 3) Menetapkan slump.
- 4) Menentukan besar beton agregat maksimum.
- 5) Menentukan kadar air bebas.
- 6) Menentukan berat jenis relatif.
- 7) Menghitung proporsi campuran beton
- 8) Koreksi proporsi campuran

Perhitungan perencanaan beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut:

Tabel. 3.1 Perencanaan Campuran (mix desain)

N o	URAIAN	TABEL/ GRAFIK HITUNG	NILAI
1	Kuat Tekan yang disyaratkan	ditetapkan	723 kg/cm ² pada 28 hari (kubus) bagian tak memenuhi syarat 5 %
2	Deviasi standart	diketahui	46 kg/cm ² atau tanpa data
3	Nilai tambah (margin)		$1.645 \times 46 = 75.67$ kg/cm ²
4	Target Kuat Tekan rata - rata	1 + 3	$722.9 + 75.67 = 798.562$ kg/cm ²
5	Jenis Semen Portland	ditetapkan	Gresik PPC (Portland Pozolan Cement)
6	Jenis Aggregate: Kasar Jenis Aggregate: Halus	ditetapkan ditetapkan	Ex pudak payung Muntilan
7	Faktor Air Semen (FAS) bebas	Tabel 3.2, Grafik 3.1	0.30 diambil nilai terendah

8	Faktor Air semen Maksimum	ditetapkan	0.30
9	Slump	ditetapkan	60 – 180.00 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	ditetapkan	25.00 mm
11	Kadar Air bebas	Tabel 3.3	$(2/3 \times 195) + (1/3 \times 225) = 205.00 \text{ kg}$
12	Kadar Semen	11/8	$205/0.30 = 683.33 \text{ kg}$
13	Kadar semen minimum	ditetapkan	$= 683.33 \text{ kg}$
14	FAS yang disesuaikan		$683.33 / 0.30 = 205.00 \text{ kg}$
15	Susunan butir aggregate		Daerah gradasi susunan butir II
16	Berat jenis Relatif Aggregate		$(0.45 \times 2.58) + (0.55 \times 2.72) = 2.66 \text{ kg/m}^3$
17	Berat beton segar	Grafik 3.2	$= 2,370.00 \text{ kg/m}^3$
18	Kadar Aggregate Gabungan	18-13-14	$2,370 - 683 - 205.0 = 1,481.67 \text{ kg}$
19	Kadar Aggregate halus		$(45 / 100) \times 1,481.7 = 666.75 \text{ kg}$
20	Kadar Aggregate kasar		$(55 / 100) \times 1,481.7 = 814.92 \text{ kg}$
Banyaknya bahan (Teoritis)		Banyaknya bahan (Terkoreksi)	
	Semen = 683.33 kg		Semen = 683.33 kg
	Air = 205.00 kg		Air = 179.37 kg
	Aggregate halus = 666.75 kg		Aggregate halus = 690.75 kg
	Aggregate kasar = 814.92 kg		Aggregate kasar = 816.55 kg

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (kg/cm²) Beton dengan Faktor air-semen 0,5 dan jenis semen dan agregate kasar yang biasa dipakai di Indonesia

JENIS SEMEN	JENIS AGREGAT KASAR	KEKUATAN TEKAN (KG/CM ²)				BENTUK BENDA UJI
		PADA UMUR (HARI)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	170	230	330	400	Silinder
	Batu pecah	190	270	370	450	
Semen tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	200	280	400	480	Kubus
	Batu pecah	230	320	450	540	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	210	280	280	440	Silinder
	Batu pecah	250	330	440	480	
	Batu tak dipecahkan	250	310	460	530	Kubus
	Batu pecah	300	400	530	600	

Sumber : SK SNI T-15-1990-03

Tabel 3.3 Perkiraan Jumlah Air Bebas (Agregat dalam Keadaan SSD) untuk Mengaduk 1 m³ Beton, untuk berbagai drajat Keleccakan, dalam Liter

Keleccakan dengan : Slump dalam mm Ve-Be dalam detik		0 – 10 Lebih 12	10 – 30 6 – 12	30 – 60 3 – 6	60 – 180 0 – 3
Besar Butir Agregat Kasar Maksimum (mm)	Bentuk Agregat				
10	Alami	150	180	205	225
	Bt. Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Bt. Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Bt.Pecah	155	175	190	205

Sumber : SK SNI T-15-1990-03

3.3. Tata Cara Pengujian

Pengujian yang akan dilakukan:

1. Uji kuat tekan beton
2. Uji kuat tarik metode split cylinder.
3. Uji porositas
4. Uji modulus elastisitas

3.3.1. Uji Kuat Tekan Beton (ASTM C39M-01)

Pengujian kuat tekan beton mengacu ke standar ASTM C39M-01 dikarenakan pengujian pada skala laboratorium (masih berupa benda uji) dan penggunaan peralatan yang sederhana, yang dilakukan pada umur beton 28 hari, langkah-langkah pengujiannya adalah :

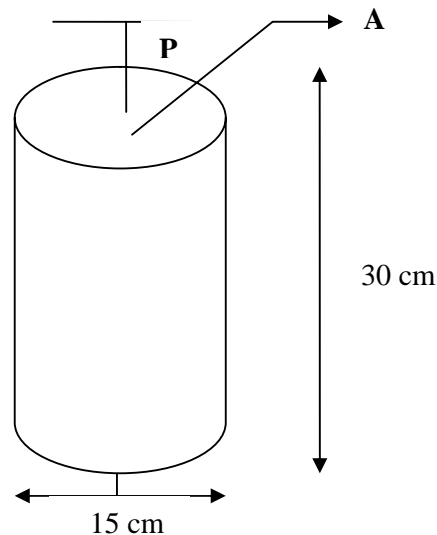
- a. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan.
- b. Menimbang dan mencatat berat sample beton, kemudian diamati apakah terdapat cacat pada beton sebagai bahan laporan.
- c. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan mesin uji tekan beton.
- d. Meletakkan sample beton ke dalam alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sample beton.
- e. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.
- f. Menghitung kuat tekan benda uji dengan rumus :

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan : P = kuat tekan (Mpa)

F = gaya tekan (N)

A = luas (mm²)



Gambar 3.2. Uji Tekan Beton.

3.3.2. Uji Kuat Tarik Beton (ASTM C496-96)

* Uji Split cylinder

Pengujian kuat tarik beton mengacu ke standar ASTM C496-96 dikarenakan pengujian pada skala laboratorium (masih berupa benda uji) dan penggunaan peralatan yang sederhana, pada metode ini sebuah silinder berukuran 15x30 cm di bebani pada penampang memanjang dengan beban yang ditingkatkan bertahap, sampai silinder mengalami kehancuran pada penampang memanjang.

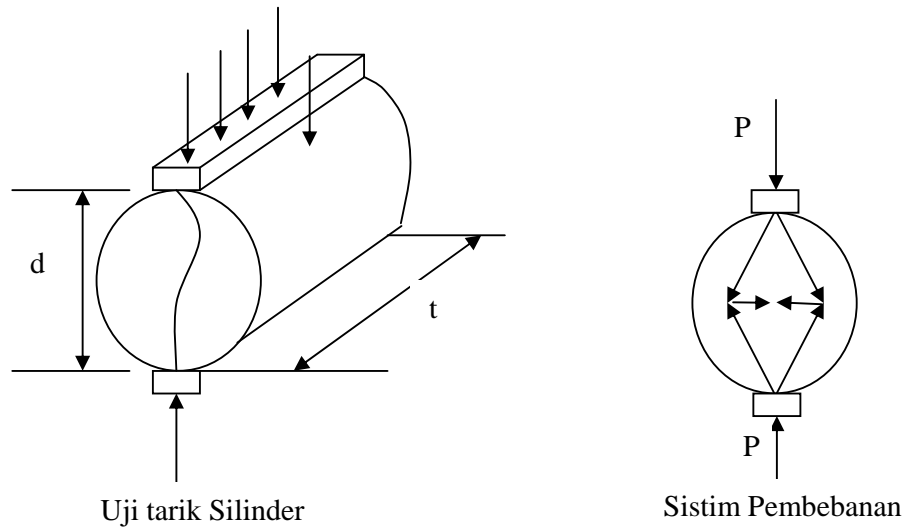
Gaya terbesar p dicatat dan tegangan tarik silinder dihitung dengan rumus :

$$f_r = \frac{2 \cdot p}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (3.2)$$

Keterangan : f_r = kekuatan tarik kg/cm²

p = gaya terbesar (ton)

l = tinggi silinder = 30 cm
 d = diameter silinder = 15 cm



Gambar 3.3. Uji Split Cylinder.

3.3.3. Uji Porositas (*porosity*) ASTM C231-97

Pegujian porositas menacu ke standar ASTM C231-97, dimana dalam metode ini menggunakan peralatan yang sedikit dengan langkah-langkah perhitungan yang sederhana, dilakukan dengan benda uji yang berukuran sama, setelah beton diangkat dari dalam air kemudian ditiriskan dan permukaan beton dibersihkan mencapai keadaan jenuh kering muka lalu dilakukan penimbangan benda uji, selanjutnya beton dimasukkan ke dalam oven dengan temperature 105 °C selama 24 jam kemudian dikeluarkan dan ditimbang lagi.

Porositas beton dihitung dengan persamaan

$$P = \frac{W_{jkm} - W_k}{W_k} \times 100 \quad (3.3)$$

Dimana; P = Porositas

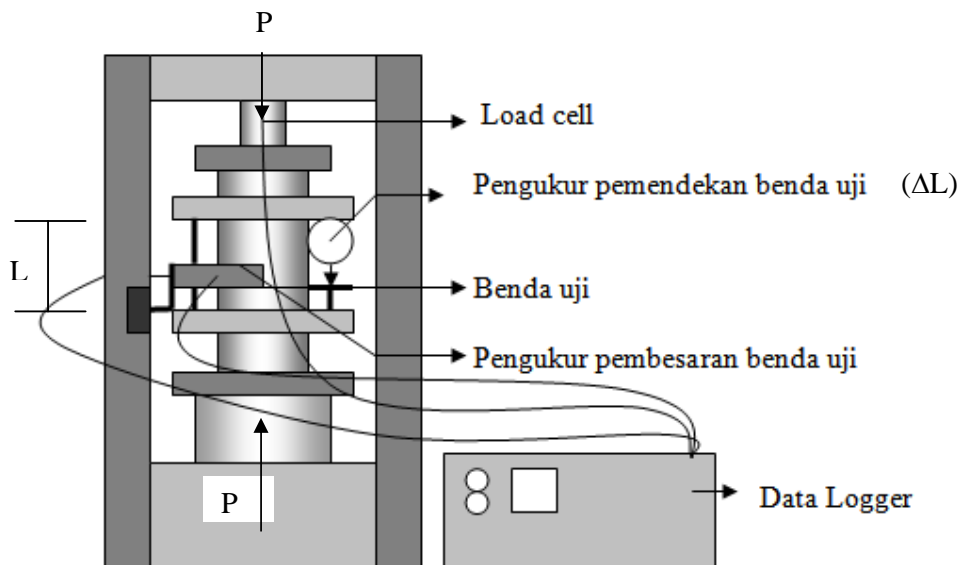
W_{jkm} = Berat jenuh kering muka

W_k = Berat Kering Oven

3.3.4. Pengujian Modulus Elastisitas (ASTM- C469-94)

Pengujian modulus elastisitas mengacu kestandar ASTM-C469-94, menghasilkan akurasi yang lebih tinggi karena pemakaian data logger dalam pembacaan LVDT, dan pegoprasian alat yang lebih sederhana. Pengujian ini dapat diketahui regangan *longitudinal*/ searah beban dengan penambahan beban secara bertahap mulai 1 ton sampai 40% mutu beton maksimum

Pengujian ini dilakukan dengan skema gambar sebagai berikut:



Gambar 3.4. Pengujian modulus elastisitas beton

Selanjutnya nilai modulus elastisitas dihitung dengan rumus persamaan sebagai berikut:

$$E = \left\{ \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,00005)} \right\} \quad (3.4)$$

Dimana : E = modulus elastisitas

S_2 = tegangan yang terjadi saat beban 40 % mutu beton maksimum = P_2/A

P_2 = gaya pada saat 40% P_{mak} .

$S_1 = P_1/A$; P_1 = gaya pada saat regangan mencapai 0,00005

ε_2 = regangan longitudinal pada saat tegangan mencapai 40% tegangan maksimum

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

4.1. Hasil Pengujian Laboratorium

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Agregat yang akan digunakan sebagai material campuran beton pada benda uji diperiksa parameternya. Parameter Agregat Halus yang diuji meliputi Kadar Kotoran organik, Kadar air asli, kadar air SSD, Berat Jenis asli, Berat Jenis SSD, Modulus Kehalusan Butir. Parameter Agregat Kasar yang diuji meliputi Kadar Kotoran organik, Kadar air asli, kadar air SSD, Berat Jenis asli, Berat Jenis SSD, Modulus Kehalusan Butir dan Keausan. Tabel 4.1. berikut merupakan rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Agregat dimaksud.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Dalam Berbagai Proporsi Campuran

Parameter	Satuan	Proporsi Campuran					
		1	2	3	4	5	6
Agregat Halus							
- Kadar kotoran organik	-	kuning	kuning	kuning	kuning	kuning	kuning
- Kadar air asli	%	4.700	1.200	1.200	1.000	1.000	1.000
- Kadar air SSD	%	1.100	1.000	1.100	0.800	0.800	0.800
- Berat jenis asli	gr/cm ³	2.530	2.780	2.860	2.990	3.110	3.225
- Berat jenis SSD	gr/cm ³	2.580	2.860	2.890	3.030	3.130	3.200
- Kadar lumpur	%	1.750	1.610	1.580	1.510	1.460	1.390
- Modulus kehalusan butir (FM)		3.797	3.797	4.017	4.445	4.411	5.008
Agregat Kasar							
- Kadar air asli	%	1.000	1.000	1.100	0.800	0.900	0.600
- Berat jenis asli	gr/cm ³	2.702	2.688	2.732	2.941	3.012	3.058
- Berat jenis SSD	gr/cm ³	2.717	2.717	2.762	2.476	3.048	3.095
- Kadar air SSD	%	0.800	0.800	0.800	0.600	0.700	0.300
- Modulus kehalusan butir (FM)		7.958	8.044	8.098	7.641	7.463	7.514
- Kadar lumpur	%	0.660	0.610	0.600	0.480	0.550	0.500
- Keausan	%	16.760	18.300	21.400	22.710	22.800	25.220

Sumber: Analisis, 2008

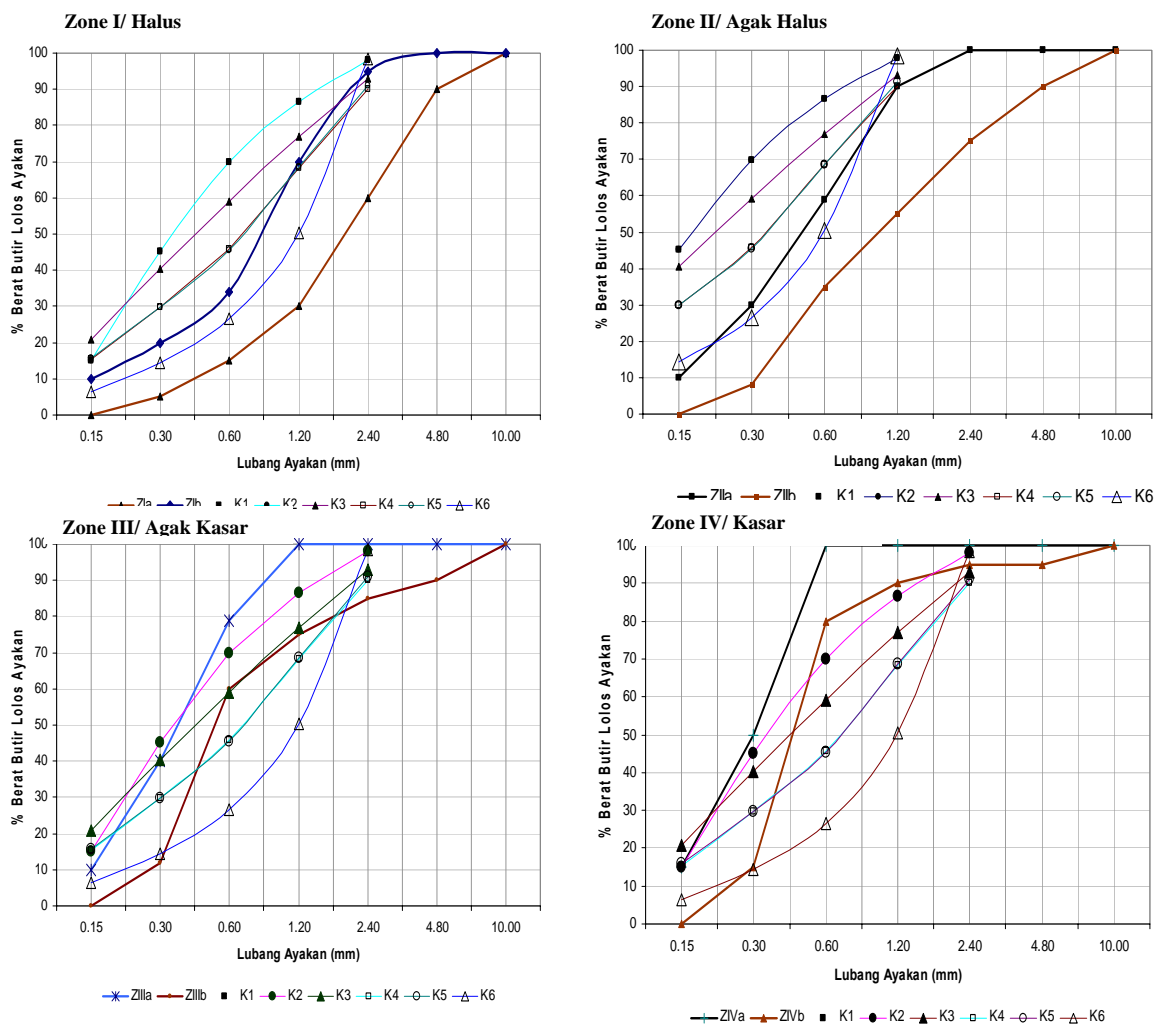
Keterangan Proporsi Campuran : 1 = 100% ps + 0% slag, 2 = 80% ps + 20% slag, 3 = 60% ps + 40% slag
4 = 40% ps + 60% slag, 5 = 20% ps + 80% slag, 6 = 0% ps + 100% slag

Berdasarkan batasan Zona jenis Agregat Halus, seperti disajikan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2. Zona Agregat Halus menurut British Standar (B.S)

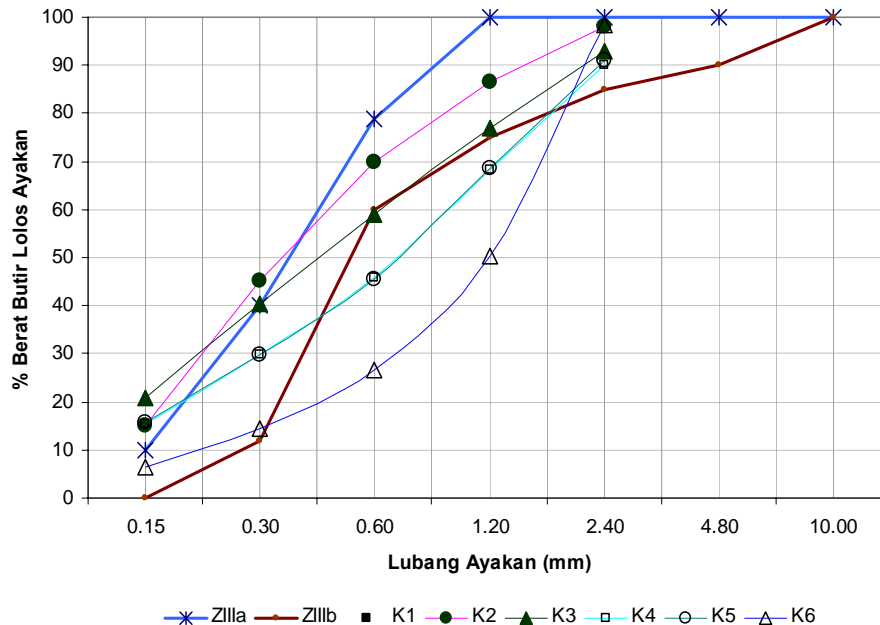
Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang Lewat Ayakan							
	Zone I/ Halus		Zone II/ Agak Halus		Zone III/ Agak Kasar		Zone IV/ Kasar	
	LL	UL	LL	UL	LL	UL	LL	UL
0.15	0	10	0	10	0	10	0	15
0.3	5	20	8	30	12	40	15	50
0.6	15	34	35	59	60	79	80	100
1.2	30	70	55	90	75	100	90	100
2.4	60	95	75	100	85	100	95	100
4.8	90	100	90	100	90	100	95	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100

Keterangan: LL= batas bawah, UL= batas atas



Gambar 4.1. Zona Agregat Halus Campuran Mix Desain pada Penelitian

Berdasarkan hasil analisis, secara umum dari semua kombinasi termasuk dalam Zona III yaitu Agregat Halusnya termasuk jenis Pasir halus. Seperti disajikan pada Gambar berikut.

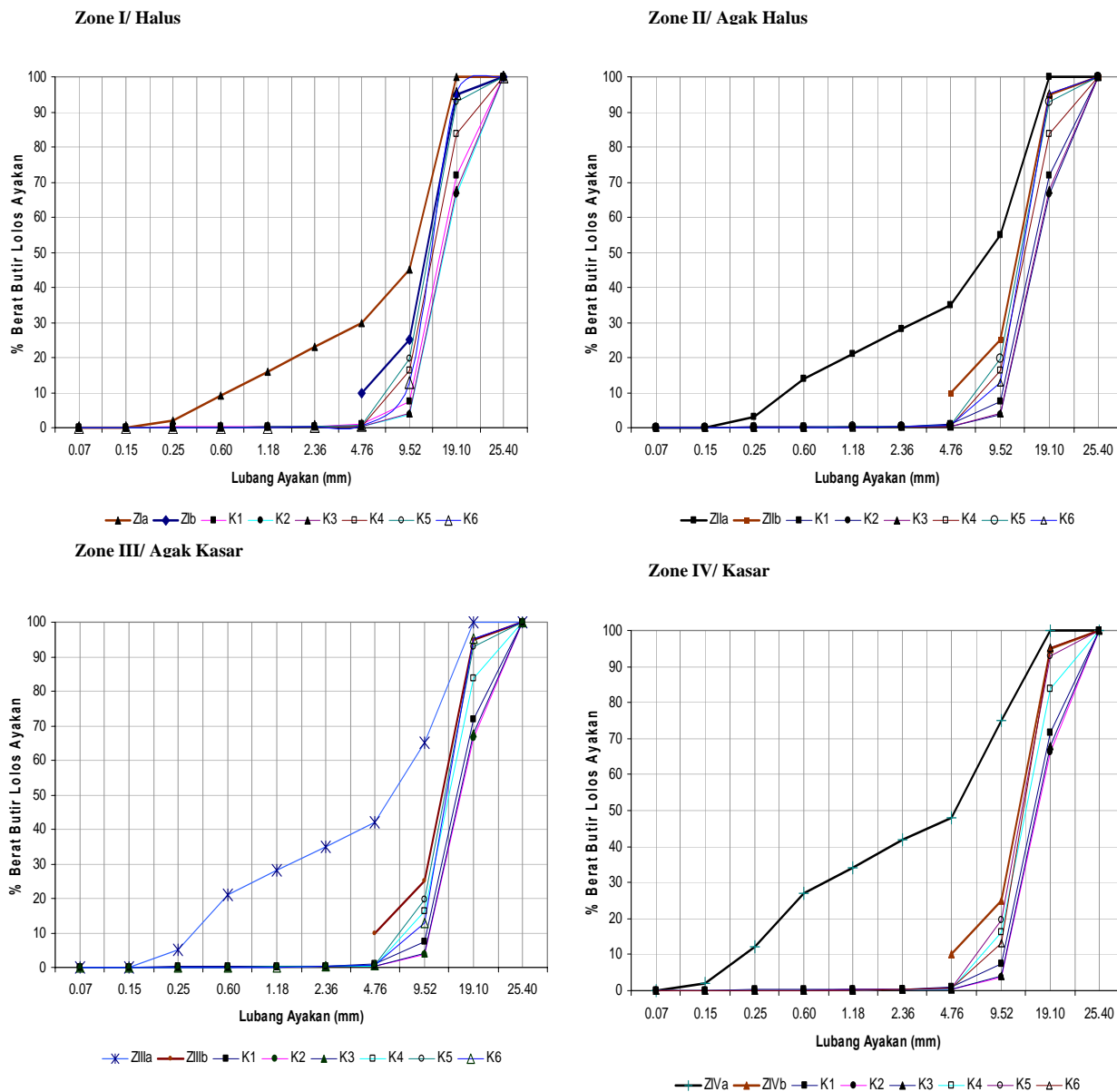


Gambar 4.2. Zona Agregat Halus Paling Dominan Menurut Campuran Mix Desain

Sedangkan untuk Jenis Agregat Kasarnya termasuk pada Zona I berdasarkan jenis gradasi maksimum 20 mm, seperti disajikan Tabel 4.3 dan Gambar 4.3. diperoleh bukti bahwa jenis Agregat Kasar yang digunakan termasuk dalam Zona I atau yang paling halus dari jenis Zona Gradasi maksimum 20 mm.

Tabel 4.3. GRADASI KERIKIL menurut British Standar (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan		
	Besarnya Butir Maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 - 100	100	100
20	30 - 70	95 - 100	100
12,5	-	-	90 - 100
10	10 - 35	25 - 55	40 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10



Gambar 4.3. Zona Agregat Kasar Campuran Mix Desain pada Penelitian

4.1.2. Mix Desain Beton

Mix Desain Beton pada penelitian ini dirancang untuk $f'c$ sebesar 60 MPa. Rincian Mix Desain sebagaimana terlampir pada Lampiran 1.

Tabel 4.4. Hasil Mix Desain Substitusi 1 s/d 6

roporsi	Semen (dm ³)	Pasir (dm ³)		BT Split (dm ³)		Air (dm ³)	Additive (kg)	
		slag	munt lan	slag	biasa		*)Superplastizer / sikamen *LN	*)Silicafume / sikafume
Trial-1	30,77	-	33,13	-	32,32	10,58	-	
Trial-2	30,77	-	33,13	-	32,32	12,61	0,403	1,209
0%	30,77	-	33,13	-	32,32	12,61	0,403	1,209
20%	30,77	6,63	26,50	6,46	26,86	12,79	0,403	1,209
40%	30,77	13,25	19,88	12,93	19,39	12,79	0,403	1,209
60%	30,77	19,88	13,25	19,39	12,93	12,79	0,403	1,209
80%	30,77	26,50	6,63	25,85	6,47	12,79	0,403	1,209
100%	30,77	33,13	-	32,32	-	12,88	0,403	1,209

Keterangan :

*) SUPERPLASTICZER

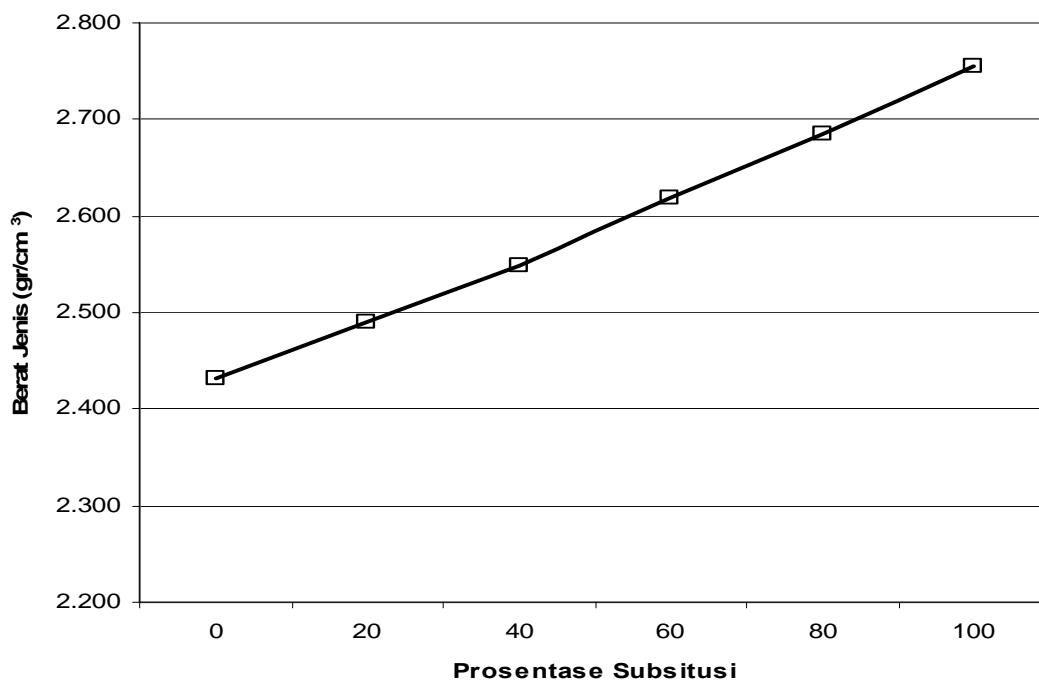
= Jenis **Sikament .LN.** (*High Range Water Reducing*) ASTM.C 494-92 Type F
Kadar 1% dari berat semen.

*) SILICA FUME

= Jenis **Sikafume** (*Densified Silica Fume*) ASTM C1240-00
Kadar 3% dari berat semen.

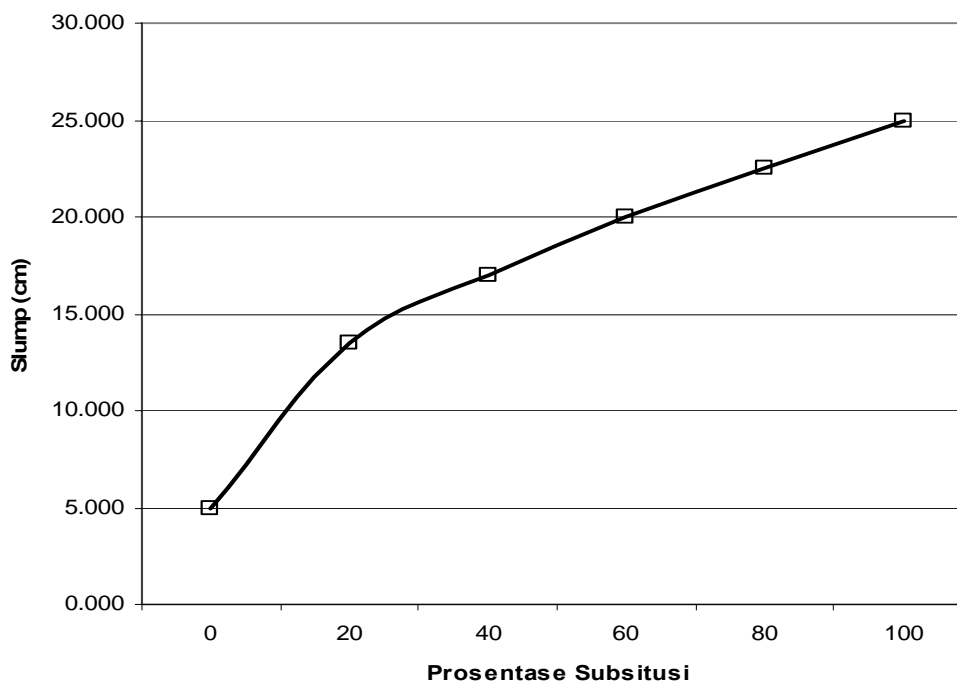
Tabel 4.5. Berat Jenis Beton

Substitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Berat Jenis (gr/cm^3)	2,431	2,491	2,549	2,618	2,686	2,755

**Gambar 4.4.** Berat Jenis Beton Pada beberapa Komposisi Campuran

Tabel 4.6. Kondisi Slump dari Berbagai Proporsi

Substitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Slump (cm)	5,0	13,5	17	20	22,5	25

**Gambar 4.5.** Kondisi Slump dari Berbagai Proporsi

4.1.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Trial Mix

Hasil Trial Mix-1 Beton dari penelitian ini menunjukkan bahwa berdasarkan Uji Tekan Beton diperoleh sebesar $f_c' = 603,66 \text{ kg/cm}^2 = 60,4 \text{ MPa}$ dan Uji Tekan setelah Trial Mix-2 dengan menggunakan bahan tambahan berupa Superplastizer dan silica fume kuat Tekan yang diperoleh sebesar $f_c' = 636,67 \text{ kg/cm}^2 = 63,7 \text{ Mpa}$.

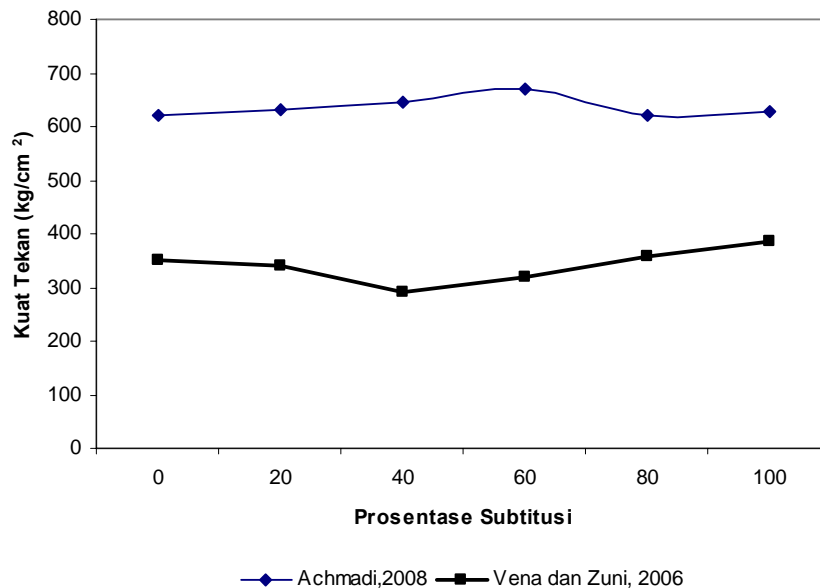
4.1.4. Hasil Pengujian Tekan Beton

Hasil penelitian (*achmadi, 2008*) $f_c' 600\text{kg/cm}^2$ pada uji kuat tekan beton diperoleh kuat tekan tertinggi terjadi pada substitusi slag Slag 60% sebesar $671,57 \text{ kg/cm}^2$ dan terjadi penurunan pada substitusi proporsi 80%, dan 100%, terjadi penurunan dipengaruhi kondisi gradasi agregat halus pada substitusi 80% dan 100% terdapat pada zona III (agak kasar) B.S (*British Standard*). Sehingga keadaan agregat yang kasar dapat menimbulkan poro-pori pada beton, yang dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan.

Sedangkan penelitian (*vena, zuni, 2006*) f_c' 350 kg/cm² hasil kuat tekan tertinggi diperoleh pada substitusi slag pada agregat kasar 100% sebesar (384.400 kg/cm²) dan kuat tekan terjadi penurunan pada substitusi slag agregat kasar 20%, 40%, 60% disebabkan laju perlintian yang tinggi, nilai laju perlintian dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi dari logam Cr dan Zn yang terlepas dari beton ke lingkungan tiap hari, semakin besar konsentrasi logam yang terlepas akan menyebabkan turunya kuat tekan beton.

Tabel 4.7. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji

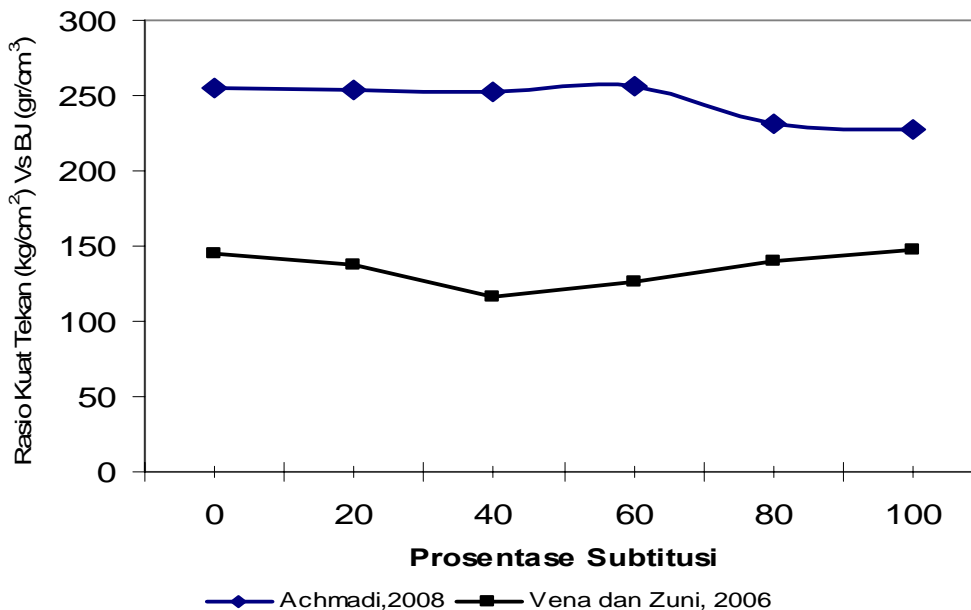
Subtitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
(<i>achmadi, 2008</i>)						
Kuat Tekan (kg/cm²)	620.637	631.953	645.160	671.573	622.520	628.183
(<i>vena, zuni, 2006</i>)						
Kuat Tekan (kg/cm²)	352.000	339.700	289.700	319.700	359.300	384.400



Gambar 4.6. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Pada Beberapa Komposisi Campuran

Tabel 4.8. Rasio Kuat Tekan Terhadap Berat Jenis Benda Uji

Subtitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
(<i>achmadi, 2008</i>)						
Kuat Tekan (kg/cm²)	620.637	631.953	645.160	671.573	622.520	628.183
BJ (gr/cm³)	2.431	2.491	2.549	2.618	2.686	2.755
Rasio	255.301	253.695	253.103	256.522	231.765	228.016
(<i>vena, zuni, 2006</i>)						
Kuat Tekan (kg/cm²)	352.00	339.70	289.70	319.30	359.30	384.40
BJ (gr/cm³)	2.425	2.460	2.495	2.540	2.575	2.610
Rasio	145.155	138.089	116.112	125.709	139.534	147.280



Gambar 4.7. Rasio Hasil Uji Kuat Tekan / BJ Benda Uji Pada Beberapa Komposisi Campuran

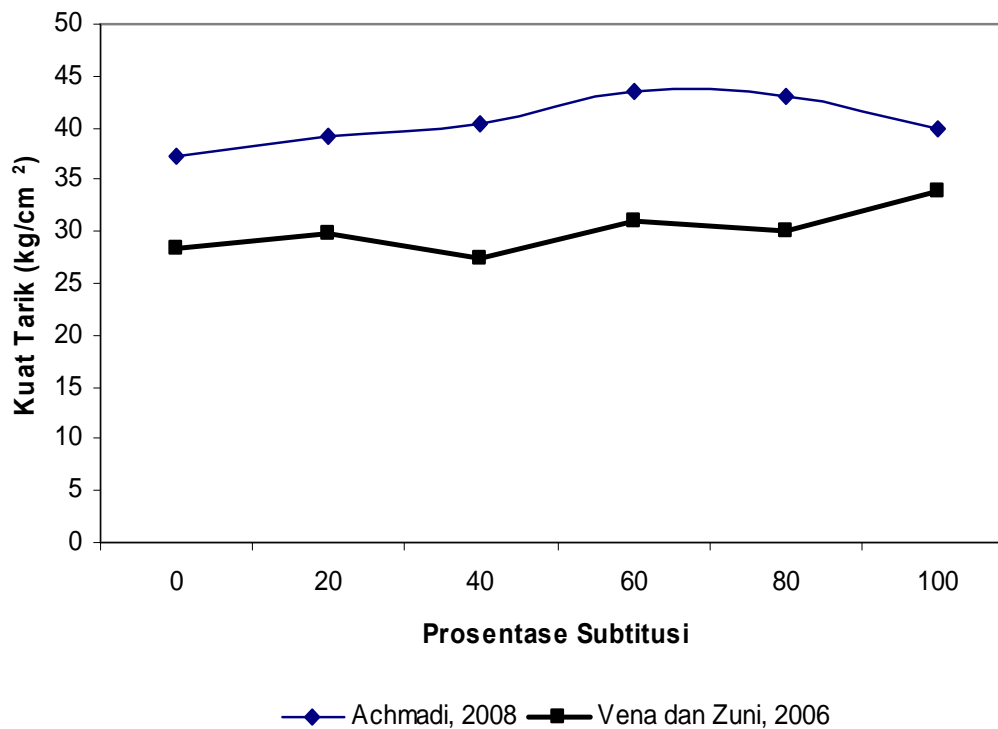
Penelitian (*achmadi, 2008*) nilai rasio kuat tekan terhadap berat jenis mengalami penurunan secara signifikan pada substitusi slag 80% dan 100%, bersinergi dengan hasil nilai kuat tekan yang kecil dan kondisi nilai berat jenis semakin meningkat, penelitian (*vena, zuni 2006*) nilai rasio kuat tekan terhadap berat jenis, terjadi penurunan pada substitusi slag 20%, dan 40 %, bersinergi dengan hasil kuat tekan yang kecil dan kondisi berat jenis yang semakin meningkat.

4.1.5. Hasil Pengujian Tarik Benda Uji

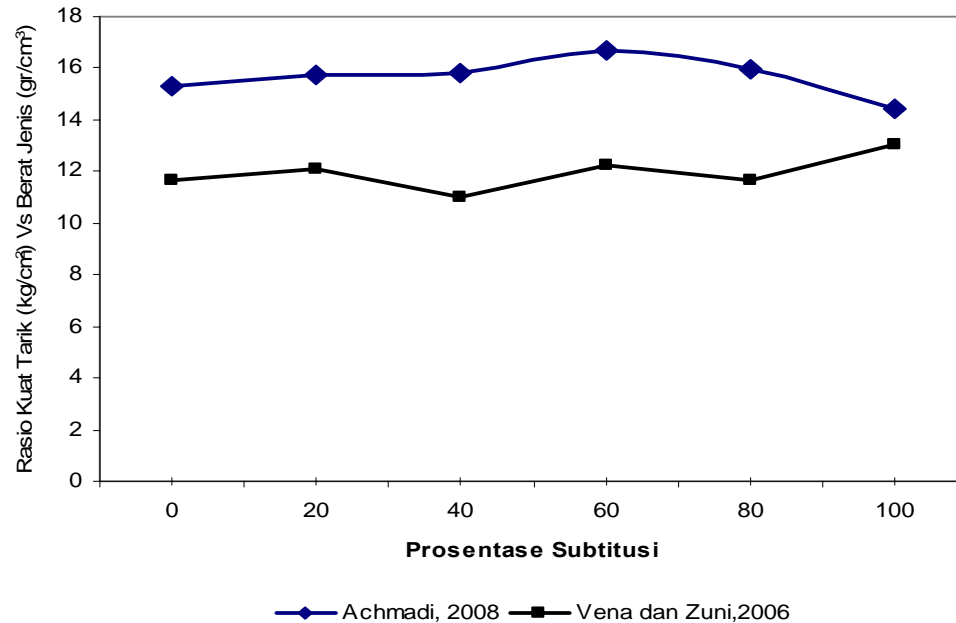
Penelitian (*achmadi, 2008*) f_c '600 kg/cm² uji kuat tarik tertinggi terjadi pada substitusi Slag 60% sebesar 43,62 kg/cm² dan terjadi penurunan pada substitusi proporsi 80%, dan 100%, terjadi penurunan dipengaruhi kondisi gradasi agregat halus pada substitusi 80% dan 100% terdapat pada zona III (agak kasar) B.S (*British Standard*). Sehingga keadaan agregat yang kasar dapat menimbulkan poro-pori pada beton, yang dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tarik. Hasil penelitian (*vena, zuni, 2006*) f_c ' 350 kg/cm² kuat tarik tertinggi pada substitusi agregat kasar slag 100 %, dengan nilai 34.10 kg/cm², sedangkan kuat tarik mengalami penurunan pada substitusi slag 40% dan 80%, dikarenakan benda uji kurang homogen (agregat slag mengumpul) sehingga berpengaruh terhadap kuat tarik.

Tabel 4.9. Hasil Uji Kuat Tarik Benda Uji

Substitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
<i>(achmadi, 2008)</i>						
Kuat Tarik (kg/cm²)	37,25	39,14	40,32	43,62	42,91	39,85
<i>(vena, zuni, 2006)</i>						
Kuat Tarik (kg/cm²)	28.30	29.70	27.40	31.10	30.00	34.10

**Gambar 4.8.** Hasil Uji Kuat Tarik Benda Uji Pada Beberapa Komposisi Campuran**Tabel 4.10.** Rasio Kuat Tarik Terhadap Berat Jenis Benda Uji

Substitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
<i>(achmadi, 2008)</i>						
Kuat Tarik (kg/cm²)	37.25	39.14	40.32	43.62	42.91	39.85
BJ (gr/cm³)	2.431	2.491	2.549	2.618	2.686	2.755
Rasio	15.324	15.713	15.818	16.662	15.977	14.463
<i>(vena, zuni, 2006)</i>						
Kuat Tarik (kg/cm²)	28.30	29.70	27.40	31.10	30.00	34.00
BJ (gr/cm³)	2.425	2.460	2.495	2.540	2.575	2.610
Rasio	11.670	12.073	10.982	12.244	11.650	13.027



Gambar 4.9. Rasio Kuat Tarik / Berat Jenis Benda Uji Pada Beberapa Komposisi Campuran

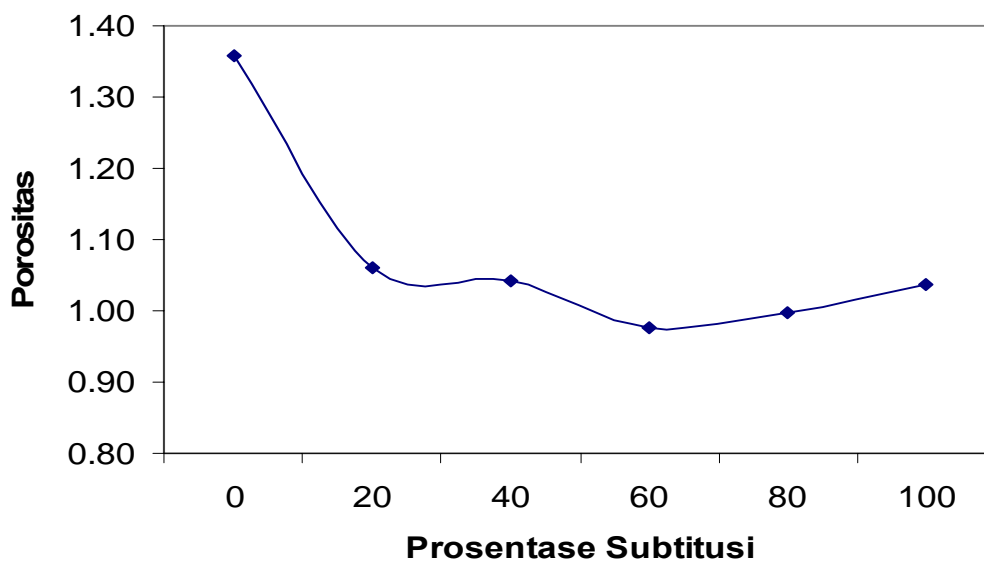
Penelitian (*achmadi, 2008*) nilai rasio kuat tarik terhadap berat jenis mengalami penurunan secara signifikan pada substitusi slag 80% dan 100%, bersinergi dengan hasil nilai kuat tekan yang kecil dan kondisi nilai berat jenis semakin meningkat, penelitian (*vena, zuni 2006*) nilai rasio kuat tarik terhadap berat jenis, terjadi penurunan pada substitusi slag 40%, dan 80 %, bersinergi dengan hasil kuat tarik yang kecil dan kondisi berat jenis yang semakin meningkat.

4.1.6. Hasil Pengujian Porositas Benda Uji

Tahap selanjutnya adalah pengujian porositas beton dari beberapa benda uji dari berbagai komposisi agregat. Berdasarkan hasil uji porositas diperoleh bahwa porositas terendah adalah 0,98 yang terjadi pada benda uji dengan substitusi slag 60% menunjukkan, gradasi gabungan antara agregat halus dan agregat kasar sangat kompak dan saling mengisi, sehingga porositas kecil beton yang dihasilkan mempunyai density yang tinggi.

Tabel 4.11. Hasil Uji Porositas Benda Uji

Subtitusi	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Porositas (%)	1,36	1,06	1,04	0,98	1,00	1,04



Gambar 4.10. Hasil Uji Porositas Benda Uji Pada Beberapa Komposisi Campuran

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Benda Uji

Tabel 4.12 Tegangan -Regangan rata-rata substitusi slag 0%(beton normal)

Tegangan (kg/cm ²)			Tegangan Rata-rata	Regangan			Regangan Rata-rata
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
14.141	14.707	14.594	14.481	0.0000067	0.0000073	0.0000013	0.0000051
28.283	28.283	28.113	28.226	0.0000133	0.0000147	0.0000100	0.0000127
44.121	42.990	42.368	43.160	0.0000200	0.0000200	0.0000133	0.0000178
57.131	57.697	57.810	57.546	0.0000267	0.0000267	0.0000173	0.0000236
70.141	71.273	70.820	70.745	0.0000300	0.0000300	0.0000227	0.0000276
84.848	85.414	84.792	85.018	0.0000373	0.0000373	0.0000300	0.0000349
99.556	99.556	98.877	99.329	0.0000453	0.0000460	0.0000353	0.0000422
113.131	113.131	113.358	113.207	0.0000500	0.0000500	0.0000413	0.0000471
127.273	126.707	128.630	127.537	0.0000567	0.0000573	0.0000480	0.0000540
141.414	141.980	141.358	141.584	0.0000627	0.0000627	0.0000547	0.0000600
156.121	155.556	155.442	155.706	0.0000687	0.0000687	0.0000627	0.0000667
169.697	169.697	170.093	169.829	0.0000733	0.0000740	0.0000700	0.0000724
183.838	184.970	184.743	184.517	0.0000800	0.0001200	0.0000773	0.0000924
197.980	199.111	198.149	198.413	0.0000853	0.0000853	0.0000827	0.0000844
212.687	213.253	212.913	212.951	0.0000933	0.0000967	0.0000907	0.0000936
226.263	226.263	226.263	226.263	0.0000987	0.0000993	0.0000987	0.0000989

Tabel 4.13 Tegangan -Regangan rata-rata substitusi slag 20%

Tegangan (kg/cm ²)			Tegangan Rata-rata	Regangan			Regangan Rata-rata
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
9.333	19.063	14.707	14.368	0.0000800	0.0000020	0.0000020	0.0000280
17.366	29.923	28.113	25.134	0.0000147	0.0000033	0.0000027	0.0000069
28.962	28.962	42.481	33.468	0.0000240	0.0000240	0.0000040	0.0000173
44.857	44.857	44.857	44.857	0.0000320	0.0000320	0.0000067	0.0000236
58.432	58.432	56.962	57.942	0.0000380	0.0000380	0.0000073	0.0000278
72.517	72.517	70.707	71.914	0.0000440	0.0000440	0.0000140	0.0000340
84.396	101.875	84.792	90.354	0.0000513	0.0000447	0.0000187	0.0000382
99.046	113.358	99.725	104.043	0.0000573	0.0000493	0.0000213	0.0000427
113.980	127.046	113.810	118.279	0.0000647	0.0000567	0.0000253	0.0000489
127.669	145.147	127.386	133.401	0.0000707	0.0000653	0.0000293	0.0000551
142.885	155.442	141.867	146.731	0.0000767	0.0000700	0.0000333	0.0000600
156.234	169.697	155.838	160.590	0.0000820	0.0000773	0.0000380	0.0000658
169.810	185.592	170.489	175.297	0.0000893	0.0000827	0.0000420	0.0000713
185.479	200.921	183.895	190.098	0.0000933	0.0000867	0.0000467	0.0000756
198.941	215.798	197.697	204.145	0.0000960	0.0000935	0.0000520	0.0000805
212.234	226.772	212.234	217.080	0.0001013	0.0000987	0.0000553	0.0000851

Tabel 4.14 Tegangan -Regangan rata-rata substitusi slag 40%

Tegangan (kg/cm ²)			Tegangan Rata-rata	Regangan			Regangan Rata-rata
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0.0000000
15.386	14.311	14.848	14.848	6.667E-06	0.000003	1.833E-05	0.0000183
29.188	28.339	28.764	28.764	1.467E-05	4.667E-05	3.067E-05	0.0000307
43.216	43.442	43.329	43.329	2.133E-05	6.933E-05	4.533E-05	0.0000453
56.962	56.962	56.962	56.962	2.867E-05	8.667E-05	5.767E-05	0.0000577
71.216	70.707	70.962	70.962	3.533E-05	0.000102	6.867E-05	0.0000687
85.584	86.036	85.810	85.810	0.000042	0.0001167	7.933E-05	0.0000793
99.273	99.273	99.273	99.273	4.867E-05	0.0001293	0.000089	0.0000890
113.527	113.810	113.669	113.669	5.467E-05	0.00014	9.733E-05	0.0000973
127.499	128.065	127.782	127.782	6.133E-05	0.0001527	0.000107	0.0001070
141.980	141.471	141.725	141.725	6.733E-05	0.0001627	0.000115	0.0001150
155.386	155.556	155.471	155.471	7.333E-05	0.0001733	0.0001233	0.0001233
170.036	169.923	169.980	169.980	7.867E-05	0.0001833	0.000131	0.0001310
184.461	185.592	185.026	185.026	8.467E-05	0.0001967	0.0001407	0.0001407
198.715	198.263	198.489	198.489	9.133E-05	0.0002053	0.0001483	0.0001483
212.800	212.404	212.602	212.602	9.667E-05	0.0002167	0.0001567	0.0001567
226.998	227.168	227.083	227.083	0.0001027	0.0002267	0.0001647	0.0001647

Tabel 4.15 Tegangan -Regangan rata-rata substitusi slag 60%

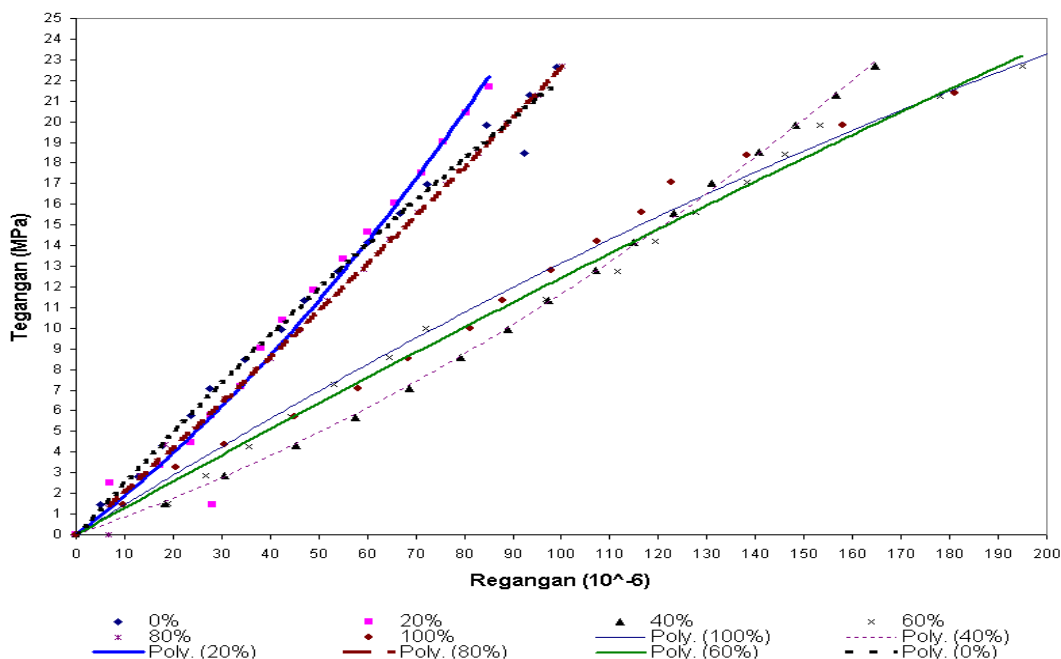
Tegangan (kg/cm ²)			Tegangan Rata-rata	Regangan			Regangan Rata-rata
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
0	0	0	0.000	0	0	0	0.0000000
15.66869	14.42424	15.04646	15.046	1.133E-05	2.667E-05	0.000019	0.0000190
29.07475	28.62222	28.84848	28.848	0.00002	3.333E-05	2.667E-05	0.0000267
42.65051	42.65051	42.65051	42.651	3.133E-05	0.00004	3.567E-05	0.0000357
58.09293	56.56566	57.32929	57.329	0.000042	4.667E-05	4.433E-05	0.0000443
73.53535	71.95152	72.74343	72.743	5.267E-05	5.333E-05	0.000053	0.0000530
86.03636	85.30101	85.66869	85.669	6.267E-05	6.667E-05	6.467E-05	0.0000647
99.32929	100.6869	100.0081	100.008	7.067E-05	7.333E-05	0.000072	0.0000720
113.2444	114.2061	113.7253	113.725	0.00008	0.0001133	9.667E-05	0.0000967
127.499	127.6687	127.5838	127.584	0.00009	0.0001333	0.0001117	0.0001117
141.697	142.1495	141.9232	141.923	9.867E-05	0.00014	0.0001193	0.0001193
155.7253	156.2909	156.0081	156.008	0.0001087	0.0001467	0.0001277	0.0001277
170.7717	170.3192	170.5455	170.545	0.0001167	0.00016	0.0001383	0.0001383
183.7818	185.1394	184.4606	184.461	0.0001253	0.0001667	0.000146	0.0001460
198.3758	198.1495	198.2626	198.263	0.0001333	0.0001733	0.0001533	0.0001533
212.3475	212.2343	212.2909	212.291	0.0001427	0.0002133	0.000178	0.0001780
226.7152	227.0545	226.8848	226.885	0.00015	0.00024	0.000195	0.0001950

Tabel 4.16 Tegangan -Regangan rata-rata substitusi slag 80%

Tegangan (kg/cm ²)			Tegangan Rata-rata	Regangan			Regangan Rata-rata
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
	0.057		0.057		0.000007		0.0000067
15.160	14.820	14.990	14.990	0.000007	0.000007	0.000007	0.0000067
28.962	28.622	28.792	28.792	0.000014	0.000012	0.000013	0.0000130
44.178	42.764	43.471	43.471	0.000020	0.000017	0.000018	0.0000183
57.301	57.867	57.584	57.584	0.000027	0.000029	0.000028	0.0000277
71.782	71.952	71.867	71.867	0.000033	0.000035	0.000034	0.0000337
85.188	85.358	85.273	85.273	0.000038	0.000042	0.000040	0.0000400
98.990	99.329	99.160	99.160	0.000045	0.000047	0.000046	0.0000460
113.697	113.414	113.556	113.556	0.000051	0.000052	0.000052	0.0000517
127.952	129.026	128.489	128.489	0.000059	0.000060	0.000059	0.0000593
142.715	143.733	143.224	143.224	0.000064	0.000065	0.000065	0.0000647
156.291	156.234	156.263	156.263	0.000071	0.000070	0.000070	0.0000703
169.640	169.923	169.782	169.782	0.000077	0.000076	0.000076	0.0000763
184.913	184.461	184.687	184.687	0.000083	0.000083	0.000083	0.0000830
200.242	198.036	199.139	199.139	0.000089	0.000088	0.000089	0.0000887
213.253	212.121	212.687	212.687	0.000095	0.000095	0.000095	0.0000950
227.337	226.319	226.828	226.828	0.000100	0.000100	0.000100	0.0001000

Tabel 4.17 Tegangan -Regangan rata-rata substitusi slag100%

Tegangan (kg/cm ²)			Tegangan Rata-rata	Regangan			Regangan Rata-rata
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
0	0	0	0.000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
13.85859	14.8202	14.33939	14.339	0.0000060	0.0000133	0.0000097	0.0000097
28.90505	35.86263	32.38384	32.384	0.0000147	0.0000267	0.0000207	0.0000207
42.65051	45.02626	43.83838	43.838	0.0000213	0.0000400	0.0000307	0.0000307
57.30101	57.58384	57.44242	57.442	0.0000300	0.0000600	0.0000450	0.0000450
70.8202	71.10303	70.96162	70.962	0.0000360	0.0000800	0.0000580	0.0000580
85.92323	84.90505	85.41414	85.414	0.0000433	0.0000933	0.0000683	0.0000683
99.44242	99.89495	99.66869	99.669	0.0000493	0.0001133	0.0000813	0.0000813
113.697	113.5273	113.6121	113.612	0.0000560	0.0001200	0.0000880	0.0000880
127.8949	127.6687	127.7818	127.782	0.0000627	0.0001333	0.0000980	0.0000980
141.8667	141.9798	141.9232	141.923	0.0000680	0.0001467	0.0001073	0.0001073
156.2343	155.8384	156.0364	156.036	0.0000733	0.0001600	0.0001167	0.0001167
170.3758	170.7717	170.5737	170.574	0.0000787	0.0001667	0.0001227	0.0001227
183.3293	183.7818	183.5556	183.556	0.0000833	0.0001933	0.0001383	0.0001383
198.3758	197.9798	198.1778	198.178	0.0000893	0.0002267	0.0001580	0.0001580
212.6303	214.7798	213.7051	213.705	0.0000953	0.0002667	0.0001810	0.0001810
226.4889	226.4889	226.4889	226.489	0.0000987	0.0003067	0.0002027	0.0002027

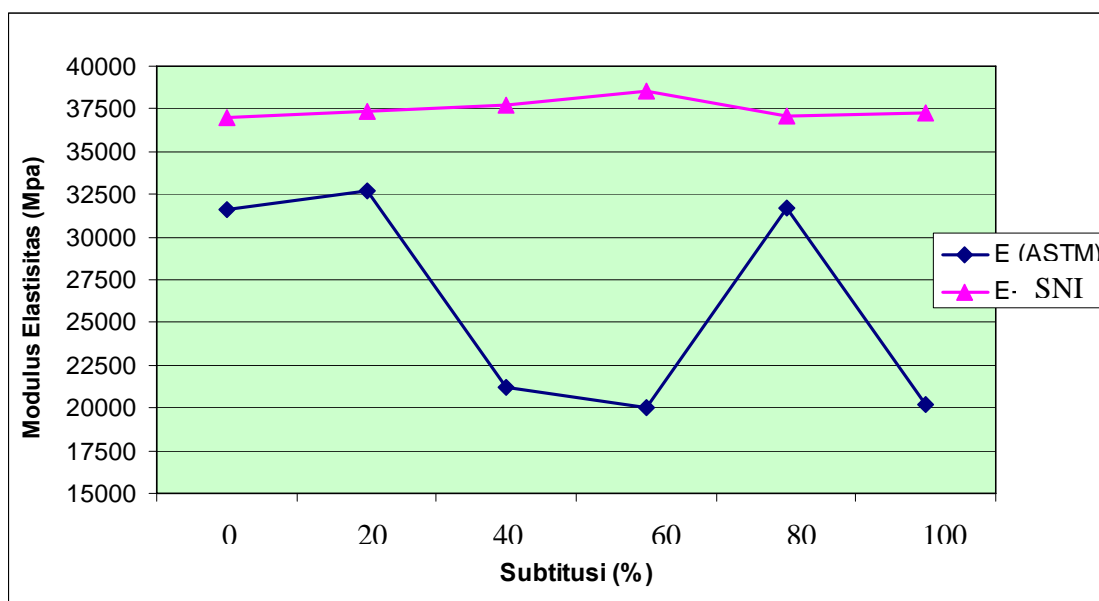


Gambar 4.11. Grafik Tegangan-Regangan Polynomial dari berbagai substitusi beban maksimum 40 %

Dari gambar 4.11. menunjukkan dengan penambahan substitusi slag, pada tegangan maksimum 40% menghasilkan kondisi nilai regangan yang variatif, nilai regangan kecenderungan besar pada substitusi slag 60% dan 100%, kondisi ini menunjukkan dengan bertambahnya substitusi slag deformasi beton cenderung semakin tinggi.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas benda uji

Kuat Tekan (Mpa)	subtitusi	Sampel-1	Sampel-2	Sampel-3	E rata-rata (MPa)	E (SNI) $E = 4700 \times \sqrt{f'c}$ (Mpa)
		Modulus Elastisitas E (MPa)	Modulus Elastisitas E (MPa)	Modulus Elastisitas E (MPa)		
62.064	0%	31544	31584	31625	31584	37027
63.195	20%	29622	31698	36877	32732	37363
64.516	40%	31689	13437	18481	21202	37751
67.157	60%	22183	17751	20233	20056	38516
62.252	80%	31819	31633	31544	31665	37083
62.818	100%	31576	12689	16419	20228	37251



Gambar 4.12. Grafik nilai Modulus Elastisitas dari berbagai subtitusi

Dari gambar 4.12 Grafik nilai Modulus Elastisitas rumusan (ASTM) dari berbagai subtitusi menunjukkan dengan meningkatnya subtitusi slag nilai modulus Elastisitas cenderung semakin rendah, sedangkan pendekatan rumusan (SNI) dengan meningkatnya subtitusi slag nilai modulus elastisitas cenderung meningkat, nilai Modulus Elastisitas terendah pada subtitusi slag 60% sebesar 20056 Mpa, disebabkan nilai deformasi regangan yang besar.

4.2. Pembahasan Hasil Pengujian Laboratorium

Mix-desain, mengacu ke Standar DoE (*Department of Environment*) dimana terlebih dahulu menentukan kuat tekan beton rencana yaitu $f'c$ 60 Mpa, penentuan aggregate halus menggunakan pasir Muntilan dan untuk aggregate kasar menggunakan batu split biasa, mix-desain 1 tanpa menggunakan bahan tambahan atau zat additive, hasil dari perencanaan beton

(mix desain) disubstitusikan ke 6 (enam) proporsi benda uji dengan kadar slag yang berbeda yaitu : 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Sebelum melakukan substitusi, terlebih dahulu melakukan pemeriksaan terhadap kadar air agregat dari masing – masing proporsi yang akan dipakai dalam mix desain, dimana antara kadar air aggregate hasil mix desain dengan kadar air aggregate yang dipakai waktu pelaksanaan substitusi terdapat perbedaan dikarenakan waktu pembuatan mix desain tidak sama, sehingga dilakukan pemeriksaan kadar air dari masing-masing aggregate yang dipakai, kehilangan kadar air dari masing – masing proporsi diperoleh, kemudian diadopsi ke parameter pemakaian air ditambah kehilangan kadar air dalam masing-masing proporsi benda uji.

Dari pengujian berat jenis beton didapat, substitusi prosentase slag semakin meningkat diikuti meningkatnya berat jenis, nilai tertinggi pada substitusi slag 100% dengan nilai 2,755 gr/cm³, ada kesesuaian pada penelitian (*Violeta.j. Petkova, 2002*) dengan 100% kadar slag dengan nilai (2,750 s/d 2,840gr/cm³) oleh sebab itu, dalam perhitungan untuk penakaran materialnya dalam perancangan beton menggunakan perbandingan volume.

Dalam pemeriksaan nilai slump, dengan penambahan prosentase kadar slag, nilai slump yang dihasilkan semakin besar, selain disebabkan penggunaan Superplasticizer juga karena sifat Aggregate slag sendiri nilai Absorbsinya kecil.

Berdasarkan hasil pengujian beberapa parameter dilaboratorium telah menunjukkan nilai yang bervariasi, diawali dengan hasil percobaan Trial-mix-1 dan Trial mix-2 terdapat perbedaan pada hasil kuat tekan, pada percobaan Trial mix-2 mengalami peningkatan kuat tekan 6.5 % jika dibanding dengan percobaan pada Trial mix-2, ini disebabkan pemakaian zat additive/ bahan tambahan berupa Superplastizer dan silicafum, penelitian (*Celik, Ozyildirim*) pemakaian silicafume dapat menaikkan nilai kuat tekan 1.02%, hasil dari Mix desain Trial mix-2 kemudian disubstitusikan pada 6 (enam) Proporsi benda uji yang masing – masing diuji pada parameter Kuat tekan, Kuat tarik, Uji porositas dan Modulus elastisitas.

Pada uji kuat tekan dan kuat tarik pada substitusi slag sebagai agregat halus dan kasar 0%, 20%, 40% , terus mengalami kenaikan, hingga nilai tertinggi pada substitusi slag 60% dengan nilai kuat tekan 671.573 kg/cm², meningkat 9.2 % dari substitusi slag 0%, nilai kuat tarik 43,62kg/cm², meningkat 17.1% dari substitusi 0%slag, sedangkan pada substitusi slag 80% mengalami penurunan hingga substitusi slag 100%, pada penelitian (*vena, zuni.2006*), (*Lukman, siti,2007*) dimana slag dipakai hanya sebagai agregat kasar, dan hasil penelitian nilai kuat tekan dan tarik yang didapat terus meningkat seiring penambahan kadar agregat slag. analisa dari hasil penelitian substitusi 80% dan 100% terjadi penurunan dipengaruhi kondisi gradasi agregat halus pada substitusi 80% dan 100% terdapat pada zona III (agak

kasar) B.S (*British Standard*). Sehingga keadaan agregat yang kasar dapat menimbulkan poro-pori pada beton, yang dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan.

Uji porositas terkecil terjadi pada substitusi slag 60%, dengan nilai 0.98 atau terjadi penurunan 27.9% dari substitusi slag 0%. Pada substitusi slag 60% menunjukkan, gradasi gabungan antara agregat halus dan agregat kasar sangat kompak dan saling mengisi, sehingga porositas kecil beton yang dihasilkan mempunyai density yang tinggi. Penelitian (*celik Ozyildirim*) menunjukkan dengan penambahan bahan slag dan silicafume dengan perbandingan tertentu dapat menurunkan nilai porositas.

Pada tegangan maksimum 40% menghasilkan kondisi nilai regangan yang variatif, nilai regangan kecenderungan besar pada substitusi slag 60% dan 100%, kondisi ini menunjukkan dengan bertambahnya substitusi slag deformasi beton cenderung semakin tinggi. Dengan meningkatnya substitusi slag nilai modulus Elastisitas cenderung semakin rendah, nilai Modulus Elastisitas terendah pada substitusi slag 60% sebesar 20056 Mpa, disebabkan nilai deformasi regangan yang besar. Penelitian (*Sabrina, Sorlini, Carlo collivignarelli, Giovani, Michele, Delle*) penggunaan dari Waelz slag dari agregat yang didaur ulang, dihasilkan nilai Modulus Elastisitas tertinggi didapat pada benda uji yang agregatnya tanpa bahan campuran slag.

Secara keseluruhan hasil pengujian, kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas, tidak menunjukkan korelasi terhadap prosentase substitusi slag, hal ini disebabkan ketidaksamaan gradasi agregat dalam setiap substitusi, sehingga menimbulkan gradasi senjang yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5. 1. Kesimpulan

1. Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada substitusi Slag 60% nilai Kuat Tekan 671,57 Kg/cm², meningkat 9.2 % dari substitusi beton normal.
2. Hubungan penambahan prosentase substitusi Slag dengan kuat tekan tidak linier, mengalami penurunan pada substitusi Slag 80% dan substitusi Slag 100 %.
3. Kuat tarik beton, mengalami peningkatan pada substitusi 20%, 40%,60% dan mengalami penurunan pada substitusi Slag 80% dan 100%, nilai kuat tarik tertinggi terjadi pada 43.62 Kg/cm². Pada substitusi Slag 60%, meningkat 17.1% dari substitusi beton normal.
4. Uji Porositas terkecil pada substitusi Slag 60%, dengan nilai 0.98, mengalami penurunan 27.9% dari substitusi beton normal.
5. Dengan meningkatnya substitusi slag nilai Modulus Elastisitas cenderung semakin rendah, nilai Modulus Elastisitas terendah pada substitusi slag 60% sebesar 20056 Mpa.
6. Limbah Slag dapat dipakai sebagai agregat halus dan agregat kasar pada campuran pembuatan beton mutu tinggi.
7. Hasil pengujian, Kuat Tekan, Kuat Tarik, Modulus Elastisitas, tidak menunjukkan korelasi terhadap prosentase substitusi slag, disebabkan ketidaksamaan gradasi agregat setiap substitusi.

5. 2. Saran-saran

1. Pada waktu pembuatan Agregat halus dari bahan Slag memakai alat stone-cruiser, sehingga Agregat yang dihasilkan seragam (tidak bergradasi) dengan betuk pipih sehingga perlu pengolahan lagi menjadi Agregat bergradasi secara manual, hal ini memerlukan biaya dan waktu yang lama, sehingga langkah ke depan diperlukan alat khusus yang bisa mengolah Agregat Slag menjadi Agregat halus secara efisien dan cepat.
2. Untuk penelitian lanjutan pada tiap proporsi campuran, besaran absorpsi perlu diketahui, dimana tingkat absorpsi sangat berpengaruh terhadap pemakaian jumlah air yang mempengaruhi mutu beton.
3. Penelitian berikutnya, substitusi gradasi slag perlu ditetapkan kesamaan gradasi, untuk menghindari timbulnya agregat senjang yang berpengaruh terhadap mutu beton.
4. Penelitian lanjutan untuk mutu beton tinggi, dengan memakai zat Additive (silica fume), pada prosentase yang variasi, agar didapat kuat Tekan yang optimal.
5. Perlu penelitian lanjutan mengenai, kondisi tekstore permukaan Agregat material Slag, dibanding dengan Agregat biasa, yang bisa mengakibatkan loss (slip) antara Agregat dengan pasta semen karena ada kecenderungan Agregat Slag mempunyai tekstur lebih licin dibanding Agregat Biasa, yang berpengaruh terhadap Mutu Beton.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Direktorat Penyelidikan masalah bangunan DPU Cipta Karya, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N,I,-2 1979*,
- 2) Direktorat Penyelidikan masalah bahan bangunan DPU Cipta Karya, *Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia 1982*,
- 3) DPU Cipta Karya Prop I Jateng 1997, *Analisa Perencanaan Proporsi Beton*, Devisi Penerbit BPPS,
- 4) Mulyono,Tri,Ir,MT, *Teknologi Beton*, Andi Yogyakarta,2004,
- 5) Neville,A,M, *Properti Of Concrete*, Prentice Hall, England,2002,
- 6) Neville,A,M, dan Books, J,J, *Concrete Teknologi*, Longman Scientific & Technical, New York,1987,
- 7) R,Sagel,P, Fole, Gideon Kusuma,*CUR Pedoman Pengerjaan Beton*, Erlangga, Jakarta 1997,
- 8) Lydon,F,D,*Concrete Mix Design*, Applied Science, London,1982,
- 9) Paul Nugraha, Antoni, *Tenologi Beton*, Andi Surabaya, 2007,
- 10) M, I, Khan, *Permeation Of Performance Concrete*, ASCE Journal Of Matrials, Jan-February 2003,
- 11) Cengiz Duran Atiz, *High-Volume Fly ash Concrete with High Strength and Low Drying Shrinkage*, ASCE Journal of Materials, March/April,2003,
- 12) Pierre-Claude Aitcin, Buquan Miao, William D Cook, and Denis Mitchell, *Effects of Size and Curing on Cylinder Compressive Strength of Normal and High-Strength Concrete*, ACI Materials Journal V,91, No,4 July-Agustust, 1994,
- 13) Michel Lessard, Omar Chaallal, and Pierre-Claude Aitcin, *Testing High-Strength Concrete Compresive Strength*, ACI Matrials Journal v,90, no,4, July-Agts, 1993,
- 14) Celik Ozyildiram, *Laboratory Investigation of low- Pearmeability concrete containing Slag and Silica fume*, ACI Matrials Journal V,91 NO,2 March – April 1994,
- 15) Violeta J, Petkova, *Tensile Strength of Fine-Grained Slag Concrete*, ASCE Journal of International Reasert Publication ,Oktober 2002,

- 16) Emmanuel K. Attiogbe, *Mean Spacing of Air Void in Hardened Concrete*, ACI Material Journal V 90, No2, March – April 1993.
- 17) Sabrina sorlini, Carlo Collivignarelli, Giovanni Plizzari, Michele Delle Foglie, *Reuse of Waelz Slag As Recycled Aggregate for Structural Concrete*, Department of Technologies, University of Brescia, Italy,
- 18) Chen Jian-Xiong, Chen Han-bin, Xiao Pei, and Zhang Lan-Fang, *A Study on Complex Alkali- Slag Environmental Concrete*, College of Material Science, Chongqing University, Chongqing, PRC,
- 19) Abbate, William V, (Valencia, PA, US), *Slag Concrete Manufactured Aggregate*, United States patents 20080017077.