

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Materi yang dibahas berdasarkan referensi maupun peraturan mengenai teknologi beton yaitu:

- Teori beton.
- Limbah padat (*Slag*).
- *Silica fume* sebagai bahan tambahan
- Material penyusun beton.
- Mix design.
- Penelitian sejenis yang pernah dilaksanakan.

2.2 Teori Beton

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air tanpa tambahan zat aditif (PBI, 1971). Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987).

2.2.1 Kuat Tekan Beton

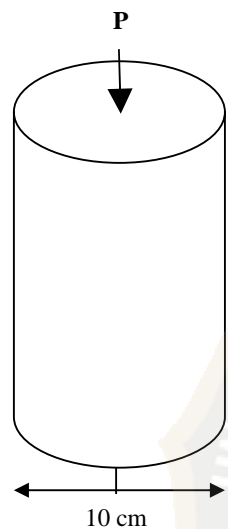
Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder (diameter 100 mm, tinggi 200mm) pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai dengan hancur. Jika menggunakan kubus bersisi 150 mm, maka hasilnya harus dikonversi dengan persamaan:

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

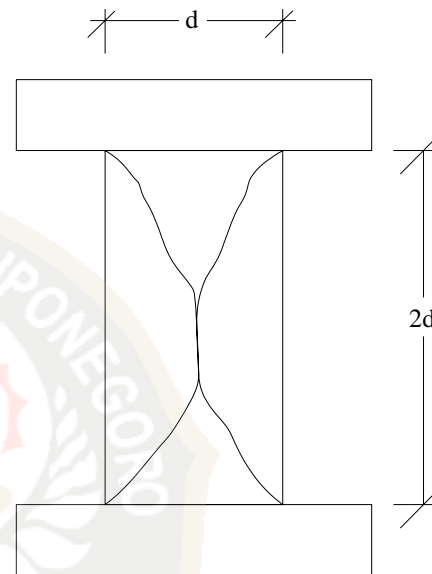
dimana σ = kuat tekan silinder (Mpa)

P = gaya tekan (N)

A = luas permukaan (mm^2)



Gambar 2.1 Uji kuat tekan



Gambar 2.2 Pola retak

Berdasarkan kuat tekan, beton dapat digolongkan dalam beton normal, beton mutu tinggi dan beton mutu sangat tinggi. Menurut *Supartono* (1998) beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan diatas 50 Mpa, sedang beton mutu sangat tinggi adalah beton dengan kuat tekan diatas 80 Mpa.

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

1. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen adalah perbandingan air dengan berat semen. Secara umum semakin tinggi nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun, nilai FAS yang semakin rendah tidak berarti kekuatan beton semakin tinggi. Dalam hal ini ada batasannya yaitu antara 0,4 - 0,65.

2. Kualitas Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kira-kira 70% volume beton diisi oleh agregat. Dari

hal tersebut, peranan agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton, agregat kasar mempunyai porsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat halus, sehingga secara keseluruhan material pembentuk beton sangat didominasi oleh agregat kasar.

Kualitas beton yang baik agregat kasar maupun agregat halus harus mewakili prosentase tiap saringan agar dihasilkan gradasi yang baik seperti tabel dibawah ini.

Tabel 2.1. Gradasi Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25,00	100	100
19,00	90 -100	95
12,50	-	-
9,50	20 – 55	37,5
4,75	0 – 10	5
2,36	0 - 5	2,5

Sumber : ASTM C 33- 03

Tabel 2.2. Gradasi Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,50	100	100
4,75	95 – 100	97,5
2,36	80 – 100	90
1,18	50 – 85	67,5
0,600	25 – 60	42,5
0,300	5 – 30	17,5
0,150	0 - 10	5

Sumber : ASTM C 33- 03

3. Pengganti Agregat Kasar

Penelitian ini menggunakan slag sebagai pengganti agregat kasar. *Slag* adalah limbah padat dari proses peleburan baja. *Slag* dihasilkan selama proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotornya pada tungku-tungku baja. Pada peleburan baja, bijih besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, *dolomite* atau kapur. Pembuatan baja dimulai dengan penghilangan ion-ion pengotor baja, diantaranya aluminium, Silikon, dan Fosfor. Ion-ion tersebut dapat menyebabkan baja menjadi tidak keras dan rapuh atau sulit untuk dibentuk lembaran-lembaran baja. Untuk menghilangkan ion-ion pengotor tersebut diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium dan aluminium, Silikon dan Fosfor membentuk *Slag*. *Slag* mengambang pada permukaan cairan baja, kemudian dibuang. *Slag* terbentuk pada suhu 1580°C dan akan tersesuai seperti kaca, berbentuk tidak beraturan dan mengeras ketika dingin. *Slag Slag* dapat berupa butiran halus sampai berupa balok-balok besar yang sangat keras. *Slag* juga mengandung logam berat yang tinggi. (Sumber: PT. Inti General Yaja Steel, Semarang).

3.1 Karakteristik Limbah Padat (*Slag*)

Karakteristik dari limbah padat (*Slag*) yaitu:

1. Karakteristik fisik

Limbah padat (*Slag*) mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya. Limbah padat (*Slag*) merupakan material dengan ukuran yang sangat bervariasi, dan untuk dapat digunakan sebagai agregat kasar harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu.

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, pada **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4** dibawah ini.

Tabel. 2.3 Komposisi kimia limbah padat *Slag*

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode Uji	Baku Mutu TCLP (PP.85/1999)
1	Seng (Zn)	Mg/l	0,01	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	50
2	Khrom (Cr)	Mg/l	< 0,03	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	5
3	Kadmium (Cd)	Mg/l	< 0,005	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	1
4	Timbal (Pb)	Mg/l	0,280	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	5
5	Tembaga (Cu)	Mg/l	< 0,005	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	10
6	Boron (B)	Mg/l	2,213	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	500
7	Perak (Ag)	Mg/l	< 0,03	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	5
8	Air Raksa (Hg)	Mg/l	0,003	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	0,2
9	Selenium (Se)	Mg/l	0,025	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	1
10	Barium (Ba)	Mg/l	< 0,01	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	100
11	Arsen (As)	Mg/l	0,019	US.EPA SW-846/1311, SM.3111B	5

(Sumber: PT.Inti General Yaja Steel)

Tabel 2.4. 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>)

4. Bahan Tambahan (additive)

Silica fume merupakan bahan aditif yang memiliki kandungan silika mencapai 85 – 95% ukuran butiran silika yang sangat halus berkisar 0,1 – 1 µm lebih kecil dari pada butiran semen yang berkisar 5 – 50 µm. Jika ditambahkan pada adukan beton akan mengisi rongga – rongga diantara butiran semen sehingga beton akan menjadi lebih kompak dan padat.

Silica fume sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh *silica fume* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

(Sumber : www.fathudinahmad.blogspot.com)

5. 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.

2.2.2 Kuat Tarik Beton

Beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Kekuatan tarik dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan percobaan belah silinder (*the split cylinder*) dimana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horisontal diatas pelat mesin percobaan. Benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik.

Kuat tarik beton dihitung dengan persamaan:

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

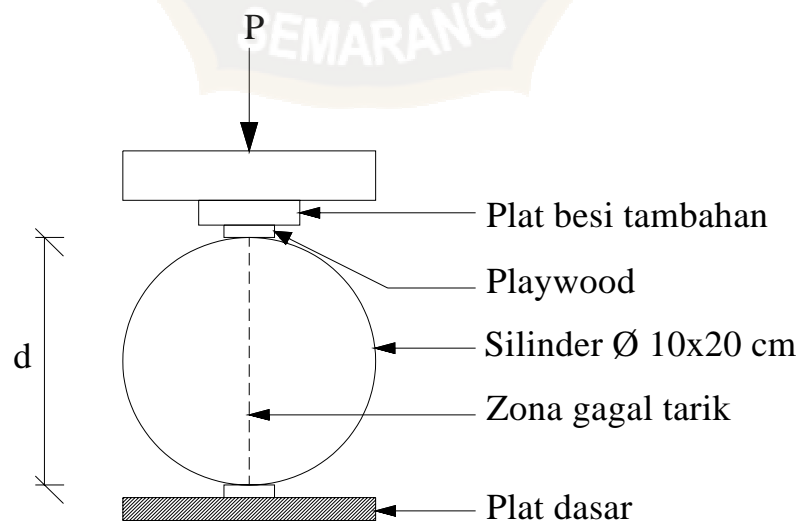
dimana

T = kuat tarik beton (Mpa)

P = beban hancur (N)

l = panjang spesimen (mm)

d = diameter spesimen (mm)



Gambar 2.3 Uji kuat tarik (uji belah)

2.2.3 Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur pada pengujian ini menggunakan benda uji balok ukuran panjang 500 mm dan tinggi 100 mm.

Kuat lentur beton (*modulus of rupture*) dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

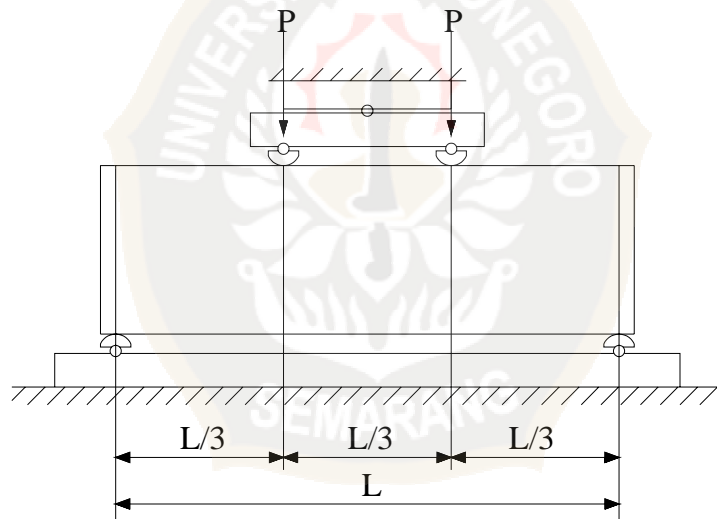
dimana : R = modulus of rupture

P = beban maksimum yang terjadi

L = panjang bentang

b = lebar spesimen

d = tinggi spesimen



Gambar 2.4 Uji kuat tarik (uji lentur)

2.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dimaksudkan untuk mendapatkan beton dengan mutu sebaik baiknya yaitu kuat tekan yang tinggi dan mudah dikerjakan. Adapun untuk perencanaan campuran beton pada penelitian ini digunakan cara DOE.

2.3.1 *Mix Design* Berdasarkan DOE

langkah-langkah dalam perhitungan perencanaan beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut:

1. Penentuan kuat tekan beton

Penentuan kuat tekan beton berdasarkan kekuatan beton pada umur 28 hari.

2. Penetapan nilai standar deviasi

Penentuan nilai standar deviasi berdasarkan 2 hal yaitu:

- Mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton.
- Volume pekerjaan

Nilai standar deviasi pada penelitian ini yaitu $S = 46$ (volume beton kurang dari 1000m^3 dan mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton baik sekali), penetapannya sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

3. Penetapan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

Dengan menganggap nilai dari hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung gauss) maka kekuatan tekan beton karakteristik adalah:

$$\sigma^{\text{bk}} = \sigma^{\text{bm}} - 1.645 \times S.$$

kuat tekan beton rata-rata dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma^{\text{bm}} = \sigma^{\text{bk}} + 1.645 \times S.$$

keterangan

σ^{bm} = kuat tekan beton rata-rata (kg/cm^2)

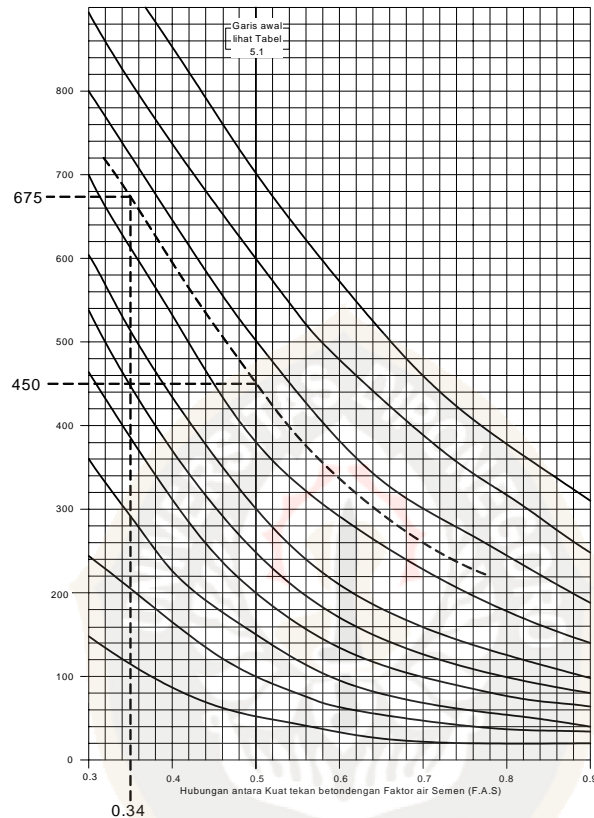
σ^{bk} = kuat tekan beton yang direncanakan (kg/cm^2)

M = $1.645 \times S$ = nilai tambah margin (kg/cm^2)

S = Standar deviasi (kg/cm^2)

4. Mencari faktor air semen

Faktor air semen dicari dengan grafik hubungan kuat tekan dengan faktor air semen, sesuai Teknologi Beton (Tri Mulyono, 2003)



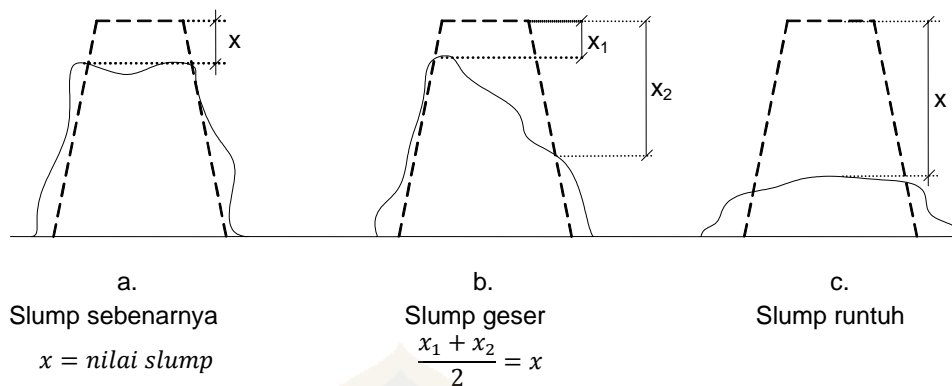
Grafik 2.5. Hubungan Kuat Tekan Beton Dengan Faktor Air Semen (FAS)

1. Penentuan nilai *Slump*

Penentuan nilai *Slump* berdasarkan pemakaian beton untuk jenis konstruksi tertentu sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

Dalam praktek ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi yaitu:

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring.
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.



Gambar. 2.6. Tipe-tipe keruntuhan Slump

2. Penentuan nilai kadar air bebas

Kadar air bebas ditentukan berdasarkan ukuran agregat, jenis batuan dan nilai *Slump* sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

3. Perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{FAS}$$

4. Penentuan prosentase jumlah agregat halus dan kasar

Proporsi agregat halus ditentukan dengan metode penggabungan agregat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Y = \frac{xa}{100} \times ya + \left[\frac{100 - xa}{1000} \right] \times yb$$

Keterangan:

Y= perkiraan persenase kumulatif lolos #9.6 dan #0.6

Menurut BS (*British Standart*) – 882, persentase lolos #9.6 dan #0.6

bisa menggunakan Spec –Ideal 135 – 882, dimana:

Perkiraan persen lolos ayakan #9.6 = 50%

Perkiraan persen lolos ayakan #0.6 = 18.5%

Yb = persentase kumulatif pasir lolos ayakan #9.6 dan #0.6

Ya = persentase kumulatif split lolos ayakan #9.6 dan #0.6

X_a = konstnsnta yang dicari

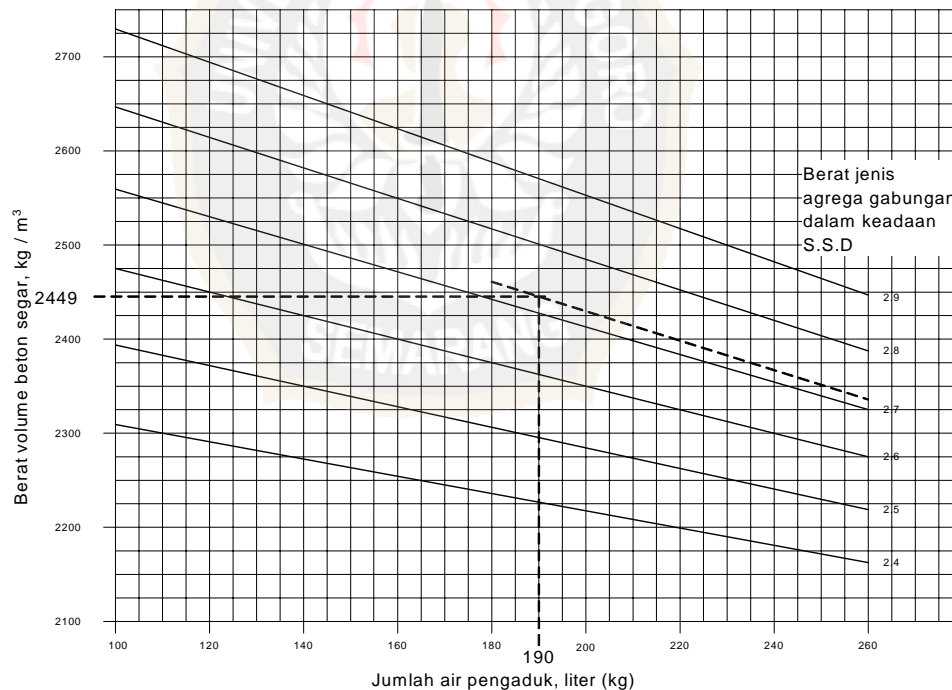
5. Penentuan berat jenis gabungan

Berat jenis gabungan adalah gabungan dari berat jenis agregat halus dan agregat kasar dengan prosentase dari campuran agregat tersebut. Berat jenis gabungan dapat dihitung dengan rumus:

$$Bj_{gab} = \frac{xa}{100} \times Bj_{xa} + \frac{xb}{100} \times Bj_{xb}$$

6. Penentuan berat beton segar

Berat segar dapat ditentukan dengan menggunakan grafik (sesuai Teknologi Beton, Trimulyono, 2003) berdasarkan data berat jenis gabungan dan kebutuhan air pengaduk untuk setiap meter kubik.



Hubungan antara berat volume beton segar, jumlah air pengaduk, dan berat jenis S.S.D agregat

Grafik 2.7. Hubungan Antara Berat Isi Campuran Beton, Jumlah Air Pengaduk dan Berat Jenis SSD Agregat Gabungan.

2.4 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 optimal pada variasi 100%, kuat tarik optimal 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 (Shofianto, Sutrisno. 2007) bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton yang beragregat *slag* dengan proporsi variasi *slag* 100%. Mutu beton rencana $f'c$ 20, 30, 40 Mpa.

Hasil penelitian tersebut didapat kuat tekan beton mengalami peningkatan, berat jenis beton berbanding lurus terhadap prosentase *slag*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Lukman, Siti. 2007) bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan slag sebagai pengganti agregat kasar pada beton dengan proporsi variasi *slag* 0%; 10%; 30%, 50%, 70%. Mutu beton rencana $f'c$ 35 Mpa.

Hasil penelitian tersebut didapat kuat tekan meningkat seiring penambahan prosentase *slag*, *workability* meningkat tajam pada penambahan prosentase *slag* 50% dan 70%, air content tertinggi pada penambahan prosentase 70%, kuat lentur turun pada prosentase *slag* 10%, namun naik mulai prosentase 30%.

Dari berbagai hasil penelitian diatas, penggunaan slag sebagai agregat kasar sudah dilaksanakan penelitian, maka dalam penelitian ini dilakukan aplikasi slag sebagai agregat kasar menggunakan gradasi ideal, dengan penambahan *silica fume*. Dan tinjauan pada pengujian kuat tekan, kuat tarik (uji belah dan lentur).