

**PENGARUH SEMEN *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG*
(GGBFS) PADA KOMPOSISI SEMEN TERHADAP KUAT TARIK
BELAH BETON MUTU TINGGI**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**RIZQI FAHRUDIN
NIM. 165060101111026**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2021



**PENGARUH SEMEN *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE*
SLAG (GGBFS) PADA KOMPOSISI SEMEN TERHADAP KUAT
TARIK BELAH BETON MUTU TINGGI**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



RIZQI FAHRUDIN
NIM. 165060101111026

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 23 Agustus 2021

Dosen Pembimbing I

Lilya Susanti, ST, MT.

NIP. 19850221 201903 2 003

Dosen Pembimbing II

Indra Waluvohadi, ST., MT., M.Sc.

NIK. 2016078703031001



Mengetahui
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Ir. Indradi W., ST., M.Eng.(Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

**PENGARUH SEMEN GROUND GRANULATED BLAST FURNACE
SLAG (GGBFS) PADA KOMPOSISI SEMEN TERHADAP KUAT
TARIK BELAH BETON MUTU TINGGI**

Nama Mahasiswa : Rizqi Fahrudin

NIM : 165060101111026

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Ir. Siti Nurlina, MT., IPP.

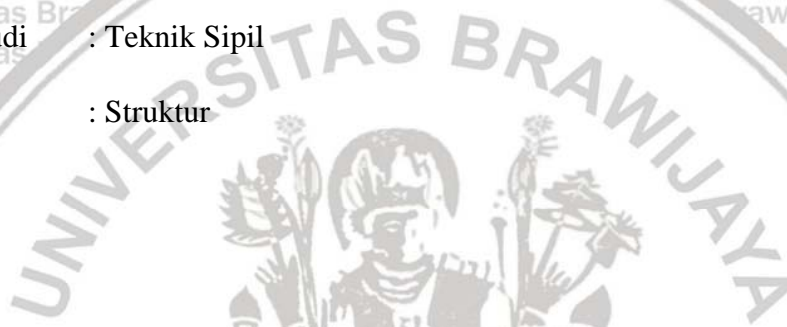
Dosen Penguji II : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT

Dosen Penguji III : Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji IV : Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjo MD, MS

Tanggal Ujian : 14 Juni 2021

SK Penguji : 914/UN10.F07/KP/2021



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 Oktober 2021

Mahasiswa,

Rizqi Fahrudin

NIM. 165060101111026



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 010/JUN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

RIZQI FAHRUDIN

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH SEMEN GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG (GGBFS)
PADA KOMPOSISI SEMEN TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON MUTU TINGGI**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 10 September 2021



Jurusan Teknik Sipil

Alwafi Pujiatmiko, ST, MT
NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi SI Teknik Sipil

Dr. Eng. Indragi Pujiatmiko, ST, M.Eng (Proc)
NIP. 19810220 200604 1 002

LEMBAR PERUNTUKAN

Dengan Rahmat Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang. Puji syukur saya ucapkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga saya dapat menyelesaikan pengerjaan dan penyusunan skripsi yang disertai dengan kemudahan dan kelancaran. Terimakasih juga saya tujukan kepada kedua orang tua dan kakak-kakak saya yang senantiasa mendoakan dan mendukung saya dalam proses pengerjaan tugas akhir saya.

Terimakasih saya sebanyak-banyaknya saya ucapkan kepada Jurusan Teknik Sipil FT-UB yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh perkuliahan selama kurang lebih empat setengah tahun dan dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan rendah hati penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Ibu Lilya Susanti, ST, MT. dan Bapak Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk proses pengerjaan tugas akhir saya. Terimakasih saya ucapkan kepada Bapak Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan dan saran dalam menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil FT-UB.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk seluruh pihak agar berguna bagi yang membutuhkan dan semoga dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dan dapat bermanfaat bagi Negara Indonesia.

Akhir kata, saya mengucapkan permintaan maaf atas kesalahan saya pada masa perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil FT-UB. Semoga Jurusan Teknik Sipil dapat terus maju dan selalu berprestasi. Terimakasih saya ucapkan kepada semua elemen yang tidak dapat saya ucapkan satu-persatu

Malang, 13 Oktober 2021

Penulis

RINGKASAN

Rizqi Fahrudin, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2021, Pengaruh Semen Ground Granulated Blast Furnance Slag (GGBFS) Pada Komposisi Semen Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Mutu Tinggi, Dosen Pembimbing: Lilya Susanti, ST., MT, dan Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.

Saat ini produksi semen meningkat seiring dengan meningkatnya industry konstruksi. Sangat sulit untuk menggantikan semen sebagai bahan utama pembuatan beton. Hal tersebut dapat diminimalisir dengan penggunaan bahan pengganti semen seperti silica fume dan granulated blast furnance slag (ggbfs). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh GGBFS terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi tanpa tambahan serta menggunakan tambahan silica fume pada proporsi semen. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; semen Portland, GGBFS, silica fume, agregat, air, dan superplasticizer.

GGBFS yang digunakan dengan variasi 25%, 45%, 55%, dan 65%. Sedangkan silica fume yang digunakan dengan variasi 10% dan 0%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada beton umur 7 hari, dengan nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah kadar silika fume 0% yaitu 16,86 MPa dan pada kadar silika fume 10% yaitu 17,37 MPa . Pada umur 14 hari dengan nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah kadar silika fume 0% yaitu 16,12 MPa dan pada kadar silika fume 10% yaitu 20,25 MPa. Pada umur 28 hari dengan nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah kadar silika fume 0% yaitu 16,69 MPa dan pada kadar silika fume 10% yaitu 24,72 MPa. Pada umur 56 hari dengan nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah kadar silika fume 0% yaitu 19,85MPa dan pada kadar silika fume 10% yaitu 20,53 MPa. Pada umur 90 hari dengan nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah kadar silika fume 0% yaitu 22,22 MPa dan pada kadar silika fume 10% yaitu 21,27 MPa. Hasil tersebut merupakan hasil nilai kuat tarik belah tertinggi pada masing-masing umur dan variasi silika fume.

Kata Kunci : Beton, GGBFS, semen, silika fume

SUMMARY

Rizqi Fahrudin, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, October 2021, Effect of Ground Granulated Blast Furnance Slag (GGBFS) Cement on Cement Composition on Split Tensile Strength of High Quality Concrete, Supervisors: Lilya Susanti, ST., MT, and Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc.

Currently, cement production is increasing along with the increase in the construction industry. It is very difficult to replace cement as the main ingredient for making concrete. This can be minimized by using cement substitutes such as silica fume and granulated blast furnace slag (ggbfs). This study aims to determine the effect of GGBFS on the split tensile strength of high-strength concrete without additional use of silica fume in the proportion of cement. The materials used in this study include; Portland cement, GGBFS, silica fume, aggregate, water, and superplasticizer.

GGBFS is used with variations of 25%, 45%, 55%, and 65%. Meanwhile, silica fume is used with variations of 10% and 0%. The results of this study indicate that in 7-day-old concrete, the greatest value of split tensile strength of concrete is 0% silica fume content of 16.86 MPa and 10% silica fume content of 17.37 MPa. At the age of 14 days with the greatest value of the split tensile strength of concrete is 0% silica fume content, which is 16.12 MPa and at 10% silica fume content, which is 20.25 MPa. At the age of 28 days with the greatest value of the split tensile strength of concrete is 0% silica fume content, which is 16.69 MPa and at 10% silica fume content, which is 24.72 MPa. At the age of 56 days with the greatest value of the split tensile strength of concrete is 0% silica fume content, which is 19.85 MPa and at 10% silica fume content, which is 20.53 MPa. At the age of 90 days with the greatest value of the split tensile strength of concrete is 0% silica fume content, which is 22.22 MPa and at 10% silica fume content, which is 21.27 MPa. These results are the results of the highest split tensile strength values for each age and variation of silica fume.

Keywords: Concrete, GGBFS, cement, silica fume

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Semen *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) Pada Komposisi Semen Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Mutu Tinggi”**. Penelitian ini dibawah payung riset oleh Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

Penyusunan dan penulisan skripsi ini tak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, baik secara materiil maupun moral. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT selaku dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi.
2. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc selaku dosen pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi.
3. Ir. Siti Nurlina, MT., IPP selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi.
4. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

5. Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (FT UB)

6. Keluarga saya yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dorongan, dan dukungan dalam berbagai bentuk kepada penulis.

7. Teman-teman penelitian yang berjuang bersama-sama

8. Teman-teman mahasiswa jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan semangat dan berbagai informasi bermanfaat untuk kelancaran perkuliahan.

9. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk penulisan ke depannya. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca. Akhir kata, penulis ucapkan terima kasih.

Malang, 17 April 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Beton	4
2.1.1 Sifat beton.....	5
2.1.2 Klasifikasi mutu beton.....	5
2.2 Bahan penyusun beton	5
2.2.1 Agregat.....	5
2.2.2 Semen.....	8
2.2.3 Air.....	10
2.2.4 Semen slag.....	10
2.3 Kuat tarik belah	12
2.4 Perbedaan dan Persamaan Fly Ash dan GGBFS	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Bahan	15
3.2.1 Semen Portland.....	15
3.2.2 <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i> (GGBFS).....	15
3.2.3 Silika Fume.....	15
3.2.4 Agregat.....	15
3.2.5 Air.....	16
3.2.6 Superplasticizer.....	16
3.3 Peralatan penelitian	16
3.3.1 Timbangan.....	16
3.3.2 Mesin Pengaduk Campuran Beton.....	16
3.3.3 Cetakan Benda Uji.....	16
3.3.4 Alat Uji Tekan.....	17
3.3.5 Vibrator.....	17
3.3.6 Peralatan Uji Slump.....	17
3.3.7 Peralatan Lainnya.....	17
3.4 Tahapan Penelitian	18
3.5 Rancangan Penelitian	18
3.6 Variabel Penelitian	21
3.7 Prosedur Penelitian	22
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar.....	22
3.7.2 Pembuatan benda uji.....	22
3.7.3 Perawatan Benda Uji.....	23
3.7.4 Pengujian Berat Volume.....	23
3.7.5 Pengujian Kuat Tarik Belah.....	23
3.8 Metode Analisis	24
3.9 Hipotesis Penelitian	24
3.9.1 Analisis Varian Dua Arah (<i>Two-Way ANOVA</i>).....	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Perencanaan benda uji	27

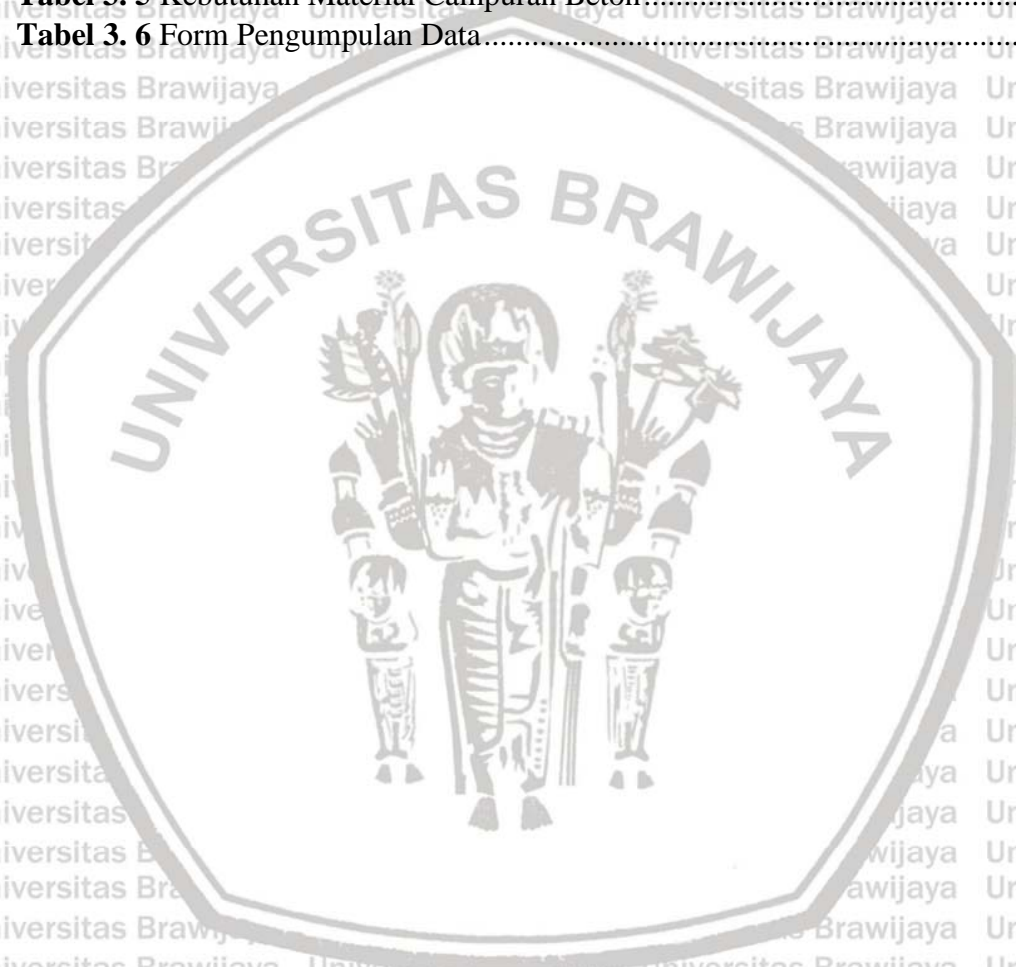


4.2	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.....	27
4.3	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	30
4.4	Analisa Varian Dua Arah (<i>Two-Way Anova</i>).....	34
4.5	Analisis Mutu Beton.....	43
BAB 5 PENUTUP		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....		46
LAMPIRAN.....		47



DAFTAR TABEL

Tabel.....	Halaman
Tabel 3. 1 Komposisi Campuran Beton / Mix Design per m ³	18
Tabel 3. 2 Variasi Komposisi Campuran Beton.....	19
Tabel 3. 3 Jumlah Benda Uji yang Dibutuhkan.....	19
Tabel 3. 4 Komposisi campuran Beton / Mix Design per 0,024 m.....	20
Tabel 3. 5 Kebutuhan Material Campuran Beton.....	20
Tabel 3. 6 Form Pengumpulan Data.....	23



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahap Pengujian Kuat Lentur.....	17



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Tjokrodimulyo, 2007).

Salah satu isu lingkungan yakni emisi gas CO₂ menjadi sangat serius dan memerlukan perhatian khusus. Gas CO₂ merupakan salah satu gas yang merupakan penyebab utama pemanasan global dan perubahan iklim. Produksi satu ton dari semen disertai sekitar satu ton emisi gas CO₂, hasil dari pembakaran bahan bakar dan kalsinasi dari bahan baku pembuatan semen. Produksi semen menghasilkan emisi gas CO₂ sekitar 7% dari total emisi CO₂. Sumber dari emisi gas CO₂ dalam produksi semen tersebut berasal dari; 50-55% kalsinasi batu kapur (CaCO₃), 40-50% pembakaran bahan bakar dan 0-10% dari tenaga listrik (Mehta, *et al*, 2001). Masalah lain yang muncul adalah sustainabilitas dari sumber daya alam yang digunakan dalam pembuatan semen (Tarun, 2008).

Peningkatan produksi semen disebabkan meningkatnya industri konstruksi setiap tahunnya. Kemungkinan sulit untuk menggantikan semen dalam memproduksi beton, akan tetapi bisa diminimasi dengan menggunakan bahan pengganti sebagian semen (*supplementary cementitious materials*) seperti *fly ash*, *silica fume*, *ggbs* dan lainnya. Dengan dukungan teknologi modern, penggunaan bahan pengganti sebagian semen adalah solusi terbaik untuk memenuhi kebutuhan

industri konstruksi seperti beton mutu tinggi dengan durabilitas serta kekuatan awal beton yang tinggi. Ggbs mempunyai bahan penyusun yang serupa dengan semen hanya saja dalam jumlah yang berbeda, sehingga ggbs bereaksi ketika ditambahkan dengan air. Akan tetapi hidrasi awal dari ggbs sangat lambat dibandingkan dengan semen pada suhu pemeliharaan standard (20°C).

1.2 Rumusan Masalah

1.2.1 Bagaimana pengaruh GGBFS terhadap kuat tarik belah beton bermutu tinggi?

1.2.2 Bagaimana pengaruh GGBFS terhadap kuat tarik belah beton bermutu tinggi dengan tambahan bahan *silica fume* pada proporsi semen?

1.3 Batasan Masalah

1.3.1 Sampel atau benda uji yang digunakan berupa silinder dengan dimensi (15×30) cm sesuai dengan SNI 2491:2014.

1.3.2 Semen OPC didapatkan dari PT. Krakatau Semen Indonesia.

1.3.3 GGBFS didapatkan dari PT. Krakatau Semen Indonesia

1.3.4 Silica Fume yang digunakan menggunakan produk PT. Sika Indonesia

1.3.5 Super Plastisizer yang di gunakan berjenis viscrete 8050 SG dari PT. Sika Indonesia

1.3.6 Agregat kasar menggunakan dua ukuran

1.3.7 Air yang digunakan merupakan air PDAM

1.3.8 Komposisi GGBFS yang digunakan yaitu 25%, 45%, 55% dan 65% dari total berat semen yang digunakan

1.3.9 Komposisi SF yang digunakan yaitu 0 dan 10% dari total berat semen yang digunakan.

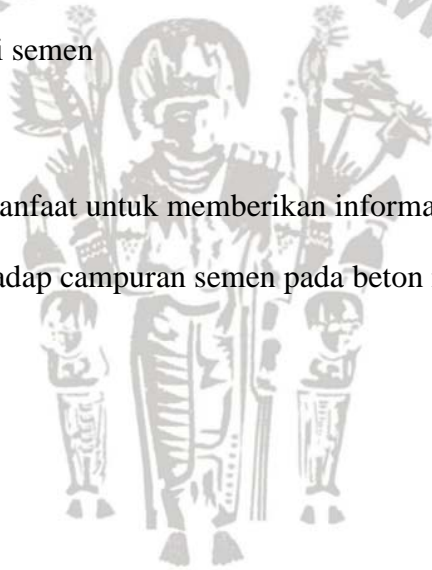
1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Untuk mengetahui pengaruh GGBFS terhadap kuat tarik belah beton bermutu tinggi

1.4.2 Untuk mengetahui pengaruh GGBFS terhadap kuat tarik belah beton bermutu tinggi dengan tambahan bahan *silica fume* pada proporsi semen

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi serta pengaruh kekuatan GGBFS terhadap campuran semen pada beton mutu tinggi



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Pengertian dari beton adalah suatu campuran bahan bangunan yang terdiri dari semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, dan bisa juga ditambah dengan bahan tambahan campuran (SNF 03-2847-2002). Agregat halus yang biasa digunakan adalah pasir alam atau pasir yang dihasilkan dari pecahan batu sedangkan agregat kasar yang biasa digunakan yaitu kerikil atau batu pecah. Ukuran agregat dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik sesuai dengan standar analisa saringan dari ASTM (America Society of Testing Materials). Semen dan air yang dicampurkan akan membentuk pasta semen berfungsi sebagai bahan pengikat. Bahan tambahan campuran digunakan untuk tujuan tertentu seperti mempermudah pekerjaan, mempercepat pengerasan, memperlambat pengerasan dan lainnya.

Beton lebih sering digunakan sebagai bahan utama untuk membangun struktur bangunan dibandingkan dengan kayu. Karena dari segi kekuatan beton jauh lebih kuat dibandingkan dengan kayu. Beton juga tahan terhadap serangan api dan tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton sebagai berikut (Tri Mulyono, 2003) :

Kelebihan beton :

- a) Mudah dibentuk sesuai kebutuhan.
- b) Dapat menahan beban berat.
- c) Tahan terhadap suhu yang tinggi
- d) Biaya pemeliharaan yang

ekonomis Kekurangan Beton :

- a) Bentuk yang telah selesai dibuat sulit diubah.
- b) Pelaksanaan pembuatan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c) Mempunyai massa yang berat.

d) Beton mempunyai nilai kuat tarik belah yang rendah sehingga beton mudah retak.

2.1.1 Sifat beton

Sifat-sifat utama beton yaitu *durability* (keawetan), *workability* (kemudahan dalam pengerjaan beton), *strength* (kekuatan), yang terakhir adalah *cohesiveness* yaitu sifat yang menggambarkan seberapa baik campuran beton dapat menyatu dalam keadaan plastis.

2.1.2 Klasifikasi mutu beton

Klasifikasi mutu beton berdasarkan f'_c ada 3, yaitu:

1. Beton dengan mutu rendah (*low strength concrete*) dengan $f'_c < 20$ MPa
2. Beton dengan mutu sedang (*medium strength concrete*) dengan $21 < f'_c < 40$ MPa
3. Beton dengan mutu tinggi (*high strength concrete*) dengan $f'_c > 41,4$ MPa,

2.2 Bahan penyusun beton

Beton secara umum tersusun dari tiga bahan utama yaitu semen, agregat, dan air. Jika dibutuhkan bahan tambahan dapat ditambah dalam pencampuran beton tersebut. Berikut merupakan karakteristik dari bahan-bahan penyusun beton :

2.2.1 Agregat

Peranan agregat dalam Penyusunan beton sangat penting untuk menentukan kualitas beton. Kandungan agregat di dalam beton mencapai 65-75 % dari volume total beton. Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi. Sifat dan karakteristik agregat sangat menentukan kualitas beton. Agregat dengan memiliki sifat kekerasan, kepadatan, keawetan yang tinggi akan menghasilkan beton dengan

kualitas yang tinggi, sedangkan agregat yang memiliki sifat sebaliknya akan menghasilkan beton dengan kualitas yang rendah (Sjafei Amri : 2005).



2.2.1.1 Agregat halus

Agregat halus merupakan pasir alam yang dipisahkan secara alami dari batuan atau yang dihasilkan oleh industry pemecah batu. Agregat halus memiliki ukuran butir paling besar 5 mm (SNI 03-2847-2002). Berikut merupakan persyaratan agregat halus secara umum (SNI 03-6821-2002) :

- a) Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b) Butir-butir halus bersifat kekal yang artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca
- c) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melebihi 5% maka pasir harus dicuci.

2.2.1.2 Agregat kasar

Agregat kasar merupakan pasir alam yang dipisahkan secara alami dari batuan atau yang dihasilkan oleh industry pemecah batu. Agregat halus memiliki ukuran butir paling besar 5 mm sampai dengan 40 mm (SNI 03-2847-2002). Berikut merupakan persyaratan agregat halus secara umum (SNI S-04-1989-F) :

- a) Butir-butirnya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan kurang dari 5% (diuji dengan goresan tembaga).
- b) Memiliki sifat kekal yang artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1%.
- d) Butang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- e) Modulus halus buti antara 6-7,1 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- f) Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

2.2.2 Semen

Pada PUBLI-1982 menjelaskan semen merupakan material yang memiliki sifat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat kalsium dengan gypsum sebagai bahan tambahan. Pembuatan semen butuh beberapa proses sehingga dihasilkan semen dengan tekstur yang sangat halus serta memiliki sifat adhesi maupun kohesif. Proses pembuatan semen dengan cara membakar karbonat atau batu gamping yang mengandung alumina dengan perbandingan tertentu. Bahan tersebut dicampurkan dan dibakar dengan suhu sekitar 1400°C - 1500°C dan akan berubah menjadi klinker. Setelah proses tersebut, bahan didinginkan dan dihaluskan sampai seperti bubuk lalu ditambahkan gypsum atau kalsium sulfat (CaSO_4) sekitar 2–4 % sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambahan lain dapat ditambahkan untuk membuat semen-semen khusus contohnya dengan penambahan kalsium klorida untuk mempersingkat waktu pengerasan semen.

Fungsi semen yaitu untuk merekatkan antar butir agregat sehingga terwujud suatu kesatuan homogen yang padat karena ketika semen dicampurkan dengan air akan terjadi reaksi kimia yang membentuk suatu batuan massa. Pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I atau OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan berikut beberapa tipe semen Portland, yaitu:

1. Semen Portland Tipe I atau OPC (*Ordinary Portland Cement*)

Semen Portland mempunyai arti semen hidrolis yang didapatkan dengan menggiling terak (campuran logam oksida dan silikon dioksida) semen portland, kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan ditambah dengan satu atau lebih Kristal senyawa kalsium yang digiling secara bersama dan bisa ditambah dengan bahan lainnya (SNI 15-2049-2004). Semen OPC ini digunakan untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.

2. Semen Portland Tipe II (*Moderate Sulfat Resistance*)

Semen Portland tipe ini dalam pemakaiannya memerlukan ketahanan terhadap kalor atau sulfat hidrasi sedang. Bangunan yang digunakan untuk

semen tipe ini disarankan bangunan seperti bendungan atau dermaga yang membutuhkan proses hidrasi yang sangat tinggi (SNI 15-2049-2004).

3. Semen Portland Tipe III (*High Early Strength Portland Cement*)

Semen portland tipe III dapat mencapai kekuatan maksimum untuk waktu yang singkat sehingga bisa digunakan untuk perbaikan bangunan yang membutuhkan kekuatan tinggi setelah pengikatan terjadi. Contohnya seperti pembuatan jalan yang menggunakan beton, landasan udara, dan bangunan tingkat tinggi.

4. Semen Portland Tipe IV (*Low Heat of Hydration*)

Semen pada penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah, baik digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan panas harus diminimalkan, contohnya pembangunan yang berada di daerah panas.

5. Semen Portland Tipe V (*Sulfat Resistance Cement*)

Semen yang penggunaannya memerlukan tahanan tingkat tinggi terhadap sulfat, contohnya pembangunan yang berada pada daerah yang memiliki tanah dan air bersulfat tinggi seperti daerah pantai dan daerah air payau.

2.2.2.1 Sifat kimia semen

Senyawa kimia dalam semen Portland hampir dua pertiganya terbentuk dari zat kapur yang proporsinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan kurang baik untuk semen karena menyebabkan terjadinya disintegrasi (perpecahan) semen setelah timbul ikatan. Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan zat kapur menghasilkan semen yang lemah. (L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1979).

2.2.3 Air

Dalam pembuatan beton air merupakan komponen penting untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat apabila semen dicampur dengan air.

Kualitas air sangat mempengaruhi proses pencampuran beton untuk menghasilkan beton yang berkualitas. Pada umumnya air yang digunakan untuk proses pencampuran adalah air yang dapat dikonsumsi karena air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, garam, gula, atau minyak dapat menyebabkan penurunan kualitas beton bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Tri Mulyon, 2003).

Komposisi air harus mempunyai perbandingan yang tepat dengan semen yang disebut dengan FAS (Faktor Air Semen). Perbandingan tersebut akan berpengaruh pada proses hidrasi sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Air yang berlebihan akan menimbulkan banyak gelembung air setelah proses hidrasi sedangkan air yang kurang menyebabkan proses hidrasi tidak maksimal (Alifinia, 2018)

2.2.4 Semen slag

Semen Slag atau GGBFS (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*) merupakan sisa pembakaran pada tanur (*furnace*) dari proses pemurnian baja yang digiling sampai halus. Semen slag dibuat dari limbah padatan bukan logam yang dihasilkan dari proses peleburan besi dan baja, baik berupa BF, BOF, EAF dan IF yang umumnya mengandung CaO, SiO₂, FeO, Al₂O₃ dan MgO, selanjutnya dihancurkan dengan mesin penghancur menjadi agregat slag berbagai ukuran (SNI 8379:2017). Semen slag memiliki kandungan utama yang tidak berbeda dengan bahan-bahan mineral alami berupa kalsium, aluminium, dan silika, seperti pada bahan Semen Portland termasuk bahan hidrasi.

Kandungan ini akan berfungsi sebagai bahan perekat agregat karena memiliki sifat *cementitious*. Semen slag memiliki kualitas perekatan yang sama dengan semen Portland oleh karena itu semen slag dapat menggantikan semen Portland pada rentang yang luas dengan rasio perbandingan massa tertentu.

Bahan baku material besi atau baja yaitu biji besi, *coke* dan *limestone*. Besi atau baja terdapat limbah pada saat proses pemisahan. Reaksi pemisahan antara besi atau baja dengan suatu unsur lain terjadi setelah dipanaskan dengan temperature yang sangat tinggi yaitu 1.600°C di dalam tanur (*blast furnace*) dan

akan merubahnya menjadi suatu cairan. Cairan ini kemudian didinginkan dengan mencelupkannya kedalam air dan akan menjadi kristal yang disebut sebagai Granulated Blast Furnace Slag (GBFS).

Berdasarkan SNI 8379:2017, semen slag terdiri dari beberapa jenis yaitu sebagai berikut :

1. BF Slag (*Blast Furnace Slag*)

Slag yang dihasilkan dari pemisahan dan pendinginan proses peleburan besi di dalam tanur tiup (*Blast Furnace*) dengan kandungan utama kalsium silikat dan aluminium silikat.

2. BOF Slag (*Basic Oxygen Furnace Slag*)

Slag yang dihasilkan dari hasil pemisahan dan pendinginan peleburan baja di dalam tungku tanur oksigen.

3. EAF Slag (*Electric Arc Furnace Slag*)

Slag yang dihasilkan dari pemisahan dan pendinginan proses peleburan baja di dalam tungku tanur listrik.

4. IF Slag (*Induction Furnace Slag*)

Slag yang dihasilkan dari pemisahan dan pendinginan proses peleburan baja di dalam tungku tanur listrik.

Menurut Lewis (1982) keuntungan penggunaan slag dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Dapat mempertinggi nilai kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan.
2. Dapat menaikkan nilai rasio antara kelenturan dan kuat tekan beton.
3. Dapat mengurangi variasi kekuatan tekan beton.
4. Dapat mengurangi serangan *alkali-silika*.
5. Dapat mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu.
6. Dapat memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton.
7. Dapat mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume.
8. Dapat mengurangi porositas dan serangan *klorida*.
9. Dapat mempertinggi ketahanan terhadap *sulfat* dalam air laut.

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

2.3 Kuat tarik belah

Secara umum kegunaan beton adalah pemanfaatan pada kekuatan tekannya, namun kekuatan tarik beton juga mempunyai peran dalam beberapa hal seperti kekuatan balok beton bertulang terhadap gaya geser dan gaya punter yang tergantung dari nilai kekuatan tarik beton. Dan juga untuk kondisi yang menjadi sebab terjadinya retak-retak dari batang lentur beton bertulang yang bergantung pada nilai kekuatan tarik beton.

Dalam percobaan menentukan nilai kuat tarik beton banyak sekali kesulitan. Seperti dalam melakukan percobaan tarik langsung misalnya, sering terjadi kesalahan-kesalahan kecil yang terjadi dalam pengujian dan konsentrasi tegangan alat-alat yang menyebabkan hasil uji coba menjadi kacau. Sebelum adanya pengujian kuat tarik belah sifat-sifat tarik beton diukur dengan menggunakan modulus keruntuhan, yaitu tegangan tarik yang dihitung pada saat sebuah gelagar percobaan dari beton datar yang akan runtuh. Karena tegangan nominal yang dihitung beranggapan bahwa beton merupakan suatu material elastis, dan karena tegangan lentur ini terlokalisasi pada serat-serat yang paling luar saja, maka sering terjadi hasil kasar dari nilai kekuatan beton yang mengalami tarik aksial yang seragam. Jadi hal tersebut merupakan suatu ukuran yang tidak sama dengan kekuatan tarik yang sebenarnya.

Setelah ditemukan percobaan kuat tarik belah yang menggunakan beton silinder dengan percobaannya sama seperti percobaan uji tekan, dengan meletakkan pada sebuah mesin uji tekan tetapi beton tidak diberdirikan posisinya melainkan ditudurkan, sehingga tekan dapat diberikan dengan seragam sepanjang kedua alas yang berlawanan. Alas besi diselipkan diantara plat tekan mesin dan benda uji silinder agar dapat mendistribusikan tekan dengan seragam. Benda uji silinder

elastis yang dibebani demikian, suatu tegangan tarik yang besarnya $2P/dL$ akan terjadi pada bidang yang tegak lurus terhadap bidang kerja gaya.

Demikian juga silinder apabila terbelah menjadi dua bagian sepanjang bidang maka dapat dihitung menggunakan persamaan yang ada diatas. P merupakan beban yang terjadi akibat tekan saat benda uji terbelah, d dan L merupakan diameter dan panjang dari benda uji silinder tersebut. Karena adanya kondisi gaya tegangan setempat dan tegangan tegak lurus terhadap tegangan tarik, maka hasil percobaan kuat tarik belah tidak sama dengan (akan tetapi dipercaya merupakan suatu ukuran pengujian yang baik dari) kuat tarik aksial yang sebenarnya (George Winter & Arthur H. Nilson, 1993).

Pada pembangunan gedung apabila diperlukan kekuatan tarik yang tinggi, maka diperlukan data hasil kuat tarik. Namun data perhitungan sering diabaikan dikarenakan nilai kekuatan tarik sangat kecil. Pengabaian kemampuan tarik menjadi tidak berfungsi apabila beton mengalami retakan. Tetapi pada pembangunan perkerasan jalan dan landasan pesawat terbang (*runway*) atau *runway*. kekuatan tarik memiliki peran yang penting. Contohnya tekanan lentur atau kekuatan tarik pada komponen yang memikul beban lentur dangat berguna untuk mendistribusikan beban yang diterima dari roda kendaraan terhadap keseluruhan luas lantai perkerasan. Beton harus bertahan terhadap tegangan tarik akibat proses pengeringan dan perbedaan temperature sepanjang usia pemakaian. Pelaksanaan uji kuat tarik secara langsung pada beton cukup sulit untuk dilaksanakan. Maka dari itu dilakukan uji kuat tarik secara tidak langsung yang dikenal dengan uji kuat tarik belah.

Beton yang diuji kuat Tarik belah yaitu beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian kuat Tarik belah beton diperoleh dari pembebanan benda uji yang diletakkan secara mendatar sejajar dengan permukaan alas penekan mesin uji tekan (SNI 03—2491-2002). Uji kuat Tarik belah dilakukan untuk mengevaluasi ketahan geser dari komponen struktur beton yang menggunakan agregat ringan (SNI 03—2491-2002).

2.4 Perbedaan dan Persamaan Fly Ash dan GGBFS

Fly Ash merupakan hasil limbah dari pembakaran batu bara atau biasa disebut abu terbang. Berbeda dengan GGBFS yang merupakan hasil limbah dari

pembakaran tanur tinggi yang merupakan produk non-metal yang berbentuk butiran. Fly ash sendiri menjadi salah satu bahan campuran pembuatan beton dikarenakan fly ash mengandung pozzolan yaitu alumina atau silika dimana bahan tersebut sesuai untuk bahan baku konstruksi. Hal tersebut sama dengan dengan GGBFS yang juga memiliki unsur alumina, silika, dan kapur yang terkandung dalam besi saat dimasukkan dalam tanur.



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian akan dilakukan pada bulan Januari 2020 sampai selesai.

3.2 Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa bahan demi tercapainya tujuan penelitian, sebagai berikut :

3.2.1 Semen Portland

Pada penelitian ini, semen portland yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) yang di produksi oleh PT. Semen Gresik. Sebelum memulai penelitian, akan dilakukan pengecekan kemasan semen dalam kondisi tersegel dan tidak terjadi gumpalan.

3.2.2 *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS)

Pada penelitian ini, GGBFS yang digunakan diproduksi oleh PT. Krakatau Semen Indonesia dengan kemasan 25 kg. Sebelum memulai penelitian, akan dilakukan pengecekan kemasan GGBFS dalam kondisi tersegel dan tidak terjadi gumpalan.

3.2.3 Silika Fume

Pada penelitian ini, silika fume yang digunakan diproduksi oleh PT Sika Indonesia dengan kemasan 20 kg. Sebelum memulai penelitian, akan dilakukan pengecekan kemasan silika fume dalam kondisi tersegel dan tidak terjadi gumpalan.

3.2.4 Agregat

Pada penelitian ini, agregat yang digunakan dalam campuran terdiri dari agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Spesifikasi Agregat kasar yang akan digunakan memiliki dua ukuran yaitu ukuran 0,5 – 1 cm

dan 1 – 2 cm. Sedangkan agregat halus yang akan digunakan merupakan pasir lumajang.

3.2.5 Air

Pada penelitian ini, air yang akan digunakan diperoleh dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.2.6 Superplasticizer

Pada penelitian ini, *superplasticizer* yang akan digunakan diperoleh dari PT. Sika Indonesia dengan tipe viscocrete 8050 SG. berdasarkan lembar spesifikasi PT. Sika Indonesia, bahan ini mampu mengurangi kebutuhan air hingga 30% dan biasa digunakan pada beton mutu tinggi.

3.3 Peralatan penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu peralatan untuk mempersiapkan material, pembuatan benda uji, alat ukur, dan alat untuk melakukan pengujian. Peralatan tersebut tersedia dan dapat digunakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.3.1 Timbangan

Pada penelitian ini, timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan-bahan campuran beton, serta benda uji yang telah dibuat. Timbangan yang digunakan ialah timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram.

3.3.2 Mesin Pengaduk Campuran Beton

Pada penelitian ini, mesin pengaduk beton atau biasa disebut molen digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton (bahan *cementitious*, agregat, air, dan bahan tambah kimia).

3.3.3 Cetakan Benda Uji

Pada penelitian ini, akan digunakan cetakan benda uji berdasarkan SNI 2491:2014, yaitu benda uji silinder dengan dimensi (15 × 30) cm.

3.3.4 Alat Uji Tekan

Pada penelitian ini, akan digunakan mesin tekan yang dapat digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton secara otomatis keluar nilai maksimumnya.

3.3.5 Vibrator

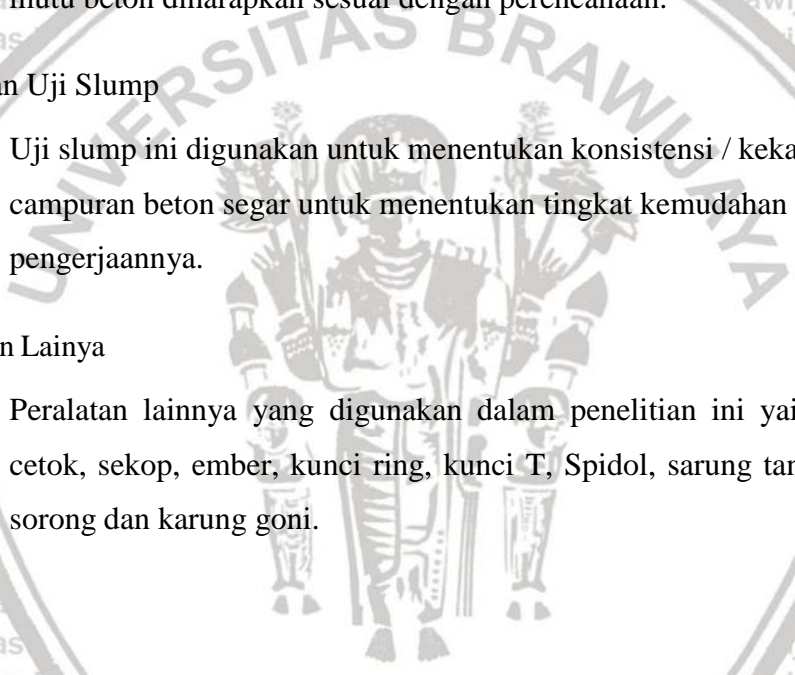
Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dibahas dapat diketahui permasalahan pembuatan beton bermutu tinggi adalah kualitas pemadatan. Vibrator digunakan untuk mendapatkan kepadatan yang baik, sehingga mutu beton diharapkan sesuai dengan perencanaan.

3.3.6 Peralatan Uji Slump

Uji slump ini digunakan untuk menentukan konsistensi / kekakuan dari campuran beton segar untuk menentukan tingkat kemudahan pengerjaannya.

3.3.7 Peralatan Lainnya

Peralatan lainnya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penggaris, cetok, sekop, ember, kunci ring, kunci T, Spidol, sarung tangan, gerobak sorong dan karung goni.



3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahap Pengujian Kuat Tarik Belah

Sumber : Diolah oleh penulis

3.5 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini, benda uji yang akan dibuat sesuai dengan ketentuan SNI 2491:2014 –*Cara uji kuat tarik belah beton normal*” yaitu silinder sederhana dengan dimensi (15 × 30) cm.

Komposisi campuran beton yang direncanakan atau biasa disebut *mix design* pada penelitian ini menggunakan komposisi campuran yang digunakan pada penelitian Liulei Lu dan Dong Ouyang (2017) yang dapat dilihat pada **Tabel 3.1** dan didapatkan hasil kuat lentur sebesar 9,5 MPa.

Berdasarkan hasil studi literatur tersebut, komposisi campuran beton atau *mix design* per m³ adukan beton yang direncanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**

Tabel 3. 1 Komposisi Campuran Beton / Mix Design per m³

Material	Jumlah	Satuan
Bahan <i>cementitious</i>	600	Kg
Pasir	798	Kg
Batu Pecah	976	Kg
Air	120	Liter

Faktor air semen (FAS) yang digunakan pada *mix design* tersebut sebesar 0,2.

Karena FAS yang digunakan sangat kecil, maka dibutuhkan penggunaan bahan tambah kimia *superplasticizer* (SP) agar campuran beton mudah dikerjakan pada proses pengadukan, penuangan ke dalam cetakan dan pemadatan. Berdasarkan tinjauan pustaka, akan digunakan SP sebesar 1% dari berat semen. Bahan *cementitious* yang dimaksud pada *mix design* pada **Tabel 3.1** yaitu bahan-bahan yang terdiri dari semen OPC, *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) dan silika fume (SF). GGBFS merupakan bahan yang akan diteliti pengaruhnya, babahan ini digunakan dengan variasi 25%, 45%, 55%, 65%. SF merupakan bahan tambah yang dapat memperbaiki mutu beton.

Berdasarkan tinjauan pustaka, akan digunakan bahan silika fume 10% dari berat semen dan akan dibandingkan dengan penggunaan silika fume 0% untuk mengetahui campuran paling efektif terhadap kuat lentur beton. Semen OPC yang digunakan merupakan sisa bahan *cementitious* yang dibutuhkan. Variasi komposisi campuran beton pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2**

berikut :



Tabel 3. 2 Variasi Komposisi Campuran Beton

Kode	Keterangan	Satuan	Variasi			
			1	2	3	4
A	Jumlah GGBFS	% dari semen	25	45	55	65
B	Silika Fume (SF)	% dari semen	0	10		

Jumlah Benda uji yang dibutuhkan yaitu 160 buah, dengan 8 variasi komposisi campuran beton yang berbeda. Berdasarkan 2491:2014, dibutuhkan 4 benda uji silinder untuk setiap variasi komposisi campuran beton. Jumlah benda uji yang dibutuhkan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut :

Tabel 3. 3 Jumlah Benda Uji yang Dibutuhkan

A1		A2		A3		A4	
B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
5	5	5	5	5	5	5	5
160 benda uji							

Setelah di dapatkan benda uji yang dibutuhkan, komposisi campuran masing-masing variasi dapat diketahui melalui perhitungan. Dalam perhitungan volume silinder, dimensi panjang silinder dibulatkan menjadi 30 cm dengan pertimbangan mempermudah perhitungan dan menghindari kekurangan bahan.

Perhitungan volume sebagai berikut

• Volume 4 silinder berdimensi $(0,15 \times 0,30) \text{ m} = 0,021 \text{ m}^3$

- Berdasarkan SNI 2491:2014, campuran setidaknya menyisakan 10% kelebihan setelah pencetakan. Dalam hal ini campuran akan dlebihkan 15%.

$$\begin{aligned} \text{Volume 4 silinder} + 15\% &= 0,021 \text{ m}^3 + (0,15 \times 0,021) \text{ m}^3 \\ &= 0,024 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan komposisi campuran beton / *mix design* pada **Tabel 3.1**, maka komposisi campuran beton per $0,024 \text{ m}^3$ dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Komposisi campuran Beton / Mix Design per 0,024 m

Material	Jumlah	Satuan
Bahan <i>cementitious</i>	14,62	Kg
Pasir	19,45	Kg
Batu Pecah	23,79	Kg
Air (FAS = 0,2)	2,92	Liter

Tabel 3.4 menunjukkan kebutuhan masing-masing variasi yang terdiri dari 4 silinder. Masing-masing variasi memiliki kode benda uji yang berbeda, kode tersebut menunjukkan presentase GGBFS dan Silika Fume pada campuran beton. Rincian kebutuhan material campuran beton masing-masing kode dapat dilihat pada **Tabel 3.5** dibawah ini :

Tabel 3.5 Kebutuhan Material Campuran Beton Masing-Masing Kode Benda Uji

KEBUTUHAN MATERIAL BETON SILINDER PER 4 SAMPEL											
no	kode	jumlah sampel	semen	pasir	kerikil	air	SF	SP	GGBFS	kontrol semen	kontrol beton
1	A1B1	4	10,97	19,45	23,79	2,92	0,00	0,11	3,66	14,62	60,90
2	A2B1	4	8,04	19,45	23,79	2,92	0,00	0,08	6,58	14,62	60,87
3	A3B1	4	6,58	19,45	23,79	2,92	0,00	0,07	8,04	14,62	60,86
4	A4B1	4	5,12	19,45	23,79	2,92	0,00	0,05	9,51	14,62	60,84
5	A1B2	4	9,51	19,45	23,79	2,92	1,46	0,10	3,66	14,62	60,88
6	A2B2	4	6,58	19,45	23,79	2,92	1,46	0,07	6,58	14,62	60,86
7	A3B2	4	5,12	19,45	23,79	2,92	1,46	0,05	8,04	14,62	60,84
8	A4B2	4	3,66	19,45	23,79	2,92	1,46	0,04	9,51	14,62	60,83

3.6 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat sebagai berikut:

3.6.1 Variabel Bebas (*independent variable*) atau biasa disebut variabel X adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat (Sudaryono, 2016).

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu persentase GGBFS.

3.6.2 Variabel Terikat (*dependent variable*) atau biasa disebut variabel Y adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas (Sudaryono, 2016).

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu kuat tarik belah beton.



3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan berpedoman pada buku petunjuk praktikum teknologi beton Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi.

Pengujian yang dilakukan yaitu uji gradasi ayakan agregat.

3.7.2 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji silinder pada penelitian ini memiliki langkah-langkah sebagai berikut :

1. Persiapkan bahan penyusun campuran beton sesuai dengan kuantitas yang dibutuhkan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.5.
2. Persiapkan cetakan (bekisting) dan peralatan yang akan digunakan pada saat pengecoran dan penuangan campuran beton ke cetakan (bekisting).
3. Masukkan bahan-bahan penyusun campuran beton ke dalam mesin pengaduk (molen) secara bergantian sebagai berikut: (1) Bahan agregat kasar dan halus; (2) Mencampurkan bahan-bahan *cementitious* (semen OPC, GGBFS, dan SF) lalu diaduk hingga bahan-bahan tersebut tercampur merata; (3) Tuangkan air sesuai dengan kebutuhan secara perlahan lalu diaduk 5-10 menit atau hingga adonan beton segar tersebut tercampur merata.
4. Setelah pengadukan, 5-10 menit ambil sebagian adonan beton segar untuk dilakukan uji slump untuk melihat hasil slump berdasarkan komposisi yang di rencanakan.
5. Adonan beton segar hasil uji slump di kembalikan ke dalam mesin pengaduk (molen). Selanjutnya ditambahkan *Superplasticizer* sesuai dengan kebutuhan 5-10 menit atau hingga adonan beton segar tercampur merata.
6. Ambil sebagian adonan beton segar yang telah ditambahkan *superplasticizer* untuk dilakukan uji slump *flow* untuk beton *self compacting concrete* (SCC) hasil pencampuran *superplasticizer*.

7. Tuangkan adonan beton segar ke dalam gerobak sorong atau timbah kecil untuk dibawa ke tempat lokasi cetakan benda uji.
8. Tuang adonan beton segar ke dalam cetakan benda uji silinder sesuai dengan dimensi yang di rencanakan.
9. Padatkan adonan beton segar pada cetakan benda uji silinder menggunakan mesin penggetar atau biasa disebut *vibrator* di beberapa titik pada adonan beton segar yang telah dituang agar pemadatan lebih merata . Berdasarkan SNI 2491:2014, lama pemadatan tergantung tingkat kemudahan dan keefektifan mesin penggetar, namun biasanya penggetaran diterapkan hingga permukaan beton relative menjadi rata. Penarikan *vibrator* dari adonan beton segar dilakukan secara perlahan.

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Proses perkerasan beton tidak terlepas dari panas hidrasi. Berdasarkan tinjauan pustaka, akan dilakukan perawatan (*curing*) selama 7 hari dengan cara melakukan penyiraman benda uji dengan air bersih atau dengan cara menyelimuti benda uji dengan karung goni basah. Perawatan benda uji dilakukan untuk menjaga kelembaban beton dan menghindari terjadinya keretakan.

3.7.4 Pengujian Berat Volume

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran berat benda uji. Untuk membuktikan kebenaran hasil rancangan perhitungan berat isi beton sesuai dengan kenyataan, sekaligus mengoreksi jika tidak tepat.

3.7.5 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pada penelitian ini dilakukan uji kuat Tarik belah beton dengan menggunakan Mesin Uji Kuat Tekan (*Compression Testing Machine*). Pengujian beton silinder dilakukan pada beton yang telah berumur 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Berikut beberapa tahapan dalam pengujian kuat tarik belah sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan pengujian, benda uji ditimbang terlebih dahulu.
2. Beri tanda pada kedua penampang lingkaran berupa tanda garis lurus di tengah menyerupai garis diameter.

3. Siapkan alat uji tekan (*Compression Testing Machine*). yang dikondisikan untuk pengujian kuat tarik belah beton.
4. Posisikan benda uji secara memanjang (ditudurkan) dan berikan bantalan penekan dibagian bawah pelat atas berupa tongkat besi sebagai penekan benda uji agar benda uji bisa terbelah menjadi dua.
5. Pemberian beban dilakukan secara terus menerus tanpa sentakan dengan kecepatan konstan yang berkisar antara 0,7 sampai 1,4 MPa sampai benda uji terbelah menjadi dua bagian.

3.8 Metode Analisis

Dari pengujian yang dilakukan diambil data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tarik belah diperoleh data beban maksimum yang dapat ditahan benda uji dan berat masing-masing benda uji untuk dihitung berat jenis beton tersebut. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan sesuai dengan kode benda uji tersebut.

Tabel 3. 6 Form Pengumpulan Data dari Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder

No	Kode Benda	Beban	
	Uji	Berat	Maksimum
		(kg)	(kN)
	A1B1C1		
	A1B1C2		
1	A1B1C3		
	A1B1C4		
	A1B1C5		

3.9 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka diatas didapatkan hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai kuat tarik belah beton pada benda uji silinder yang menggunakan variasi komposisi semen slag sebagai substitusi semen Portland sebesar 25%, 45%, 55%, 65% akan mengalami perubahan nilai kuat tarik belah beton.



2. Nilai kuat tarik belah beton pada benda uji silinder yang menggunakan variasi umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 90 hari akan mengalami peningkatan nilai kuat tarik belah beton seiring dengan semakin tua umur beton.
3. Nilai kuat tarik belah beton pada benda uji silinder yang menggunakan variasi mutu >3,22 MPa akan mengalami peningkatan nilai kuat tarik belah beton seiring semakin besarnya mutu beton.

3.9.1 Analisis Varian Dua Arah (*Two-Way ANOVA*)

Pada penelitian ini digunakan uji statistik ANOVA dua arah dengan interaksi. Uji statistik dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variasi komposisi semen slag dan variasi GGBFS dan variasi rasio silika fume.

Pernyataan ada atau tidaknya pengaruh variasi tulangan dan variasi semen slag pada beton terhadap kuat tarik belah beton, dapat dinyatakan secara statistik sebagai berikut :

1. α = pengaruh faktor variasi GGBFS
2. β = pengaruh faktor variasi rasio silika fume
3. $\alpha\beta$ = pengaruh interaksi faktor variasi GGBFS dan factor variasi rasio silika fume

Ketiga hipotesis dinyatakan sebagai berikut :

1. $H_0^1 = \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$
 $H_1^1 =$ paling sedikit satu ($\alpha_i \neq 0$)
2. $H_0^2 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{ij}$
 $H_1^2 =$ paling sedikit satu ($\beta_j \neq 0$)
3. $H_0^3 = (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$
 $H_1^3 =$ paling sedikit satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$

Keterangan :

H_0 = hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh dari faktor α , faktor β , ataupun interaksi keduanya.

H_1 = Hipotesis alternative yang menyatakan bawa ada pengaruh dari faktor α , faktor β , ataupun interaksi keduanya

Dasar pengambilan keputusan :

1. Jika F hitung (F output) > F tabel maka H_0 ditolak, H_1 diterima.
Jika F hitung (F output) < F tabel maka H_0 diterima, H_1 ditolak.



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan benda uji

4.1.1 Perencanaan Campuran Beton

Pada perencanaan benda uji silinder digunakan penentuan kadar semen GGBFS dalam komposisi campuran beton berdasarkan PT. Krakatau Semen Indonesia kadar semen GGBFS dapat mencapai 70%. Sehingga pada komposisi campuran beton ini digunakan presentase antara 20% dan 70%. Pada komposisi campuran beton ini menggunakan variasi persentase material semen GGBFS yaitu dengan presentase 25%, 45%, 55%, 65% dari berat bahan *cementitious* yang dibutuhkan. Untuk penggunaan material Silika Fume menggunakan variasi persentase material Silika Fume yaitu 0% dan 10% dari berat bahan *cementitious* yang dibutuhkan. Agregat halus yang digunakan merupakan pasir alam atau pasir yang dihasilkan dari pecahan batu sedangkan agregat kasar yang digunakan adalah kerikil atau batu pecah. Untuk mempermudah pengelompokkan, variasi-variasi tersebut diinisialkan dengan kode A dan B seperti tabel 3.6. Pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen OPC (Ordinary Portland Cement) atau Portland tipe 1 dari PT. Krakatau Semen Indonesia.

Tabel 4. 1 Perencanaan campuran beton

No	Kode	Semen GGBFS		Silika Fume		Semen Portland		Pasir (kg)	Kerikil		SP (kg)	Air (kg)	Jumlah
		%	Berat (kg)	%	Berat (kg)	%	Berat (kg)		0,5-1 cm	1-2 cm			
1	A1B1	25	18,28	0	0	75	54,84	97,25	59,47	59,47	0,55	14,62	304,24
2	A2B1	45	32,91	0	0	55	40,22	97,25	59,47	59,47	0,4	14,62	304,35
3	A3B1	55	40,22	0	0	45	32,91	97,25	59,47	59,47	0,33	14,62	304,28
4	A4B1	65	47,53	0	0	35	25,59	97,25	59,47	59,47	0,26	14,62	304,2
5	A1B2	25	18,28	10	7,31	75	47,53	97,25	59,47	59,47	0,48	14,62	304,42
6	A2B2	45	32,91	10	7,31	55	32,91	97,25	59,47	59,47	0,33	14,62	304,28
7	A3B2	55	40,22	10	7,31	45	25,59	97,25	59,47	59,47	0,26	14,62	304,2
8	A4B2	65	47,53	10	7,31	35	18,28	97,25	59,47	59,47	0,18	14,62	304,13

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Setelah merencanakan *mix design* selanjutnya melakukan pembuatan dan perawatan benda uji. Proses pembuatan dan perawatan benda uji yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada berikut :



4.2.1 Pembuatan Benda Uji

Pada pelaksanaan penelitian ini, benda uji dibuat dengan melakukan langkah-langkah seperti yang dijelaskan dibawah ini:

1. Mempersiapkan cetakan silinder benda uji dengan dimensi 15 x 30 cm



Gambar 4.1. Cetakan Silinder Benda Uji Kuat Tekan

- 2 Mempersiapkan material-material yang dibutuhkan dengan berat dan persentase sesuai dengan komposisi masing-masing kode yang telah ditentukan pada *mix design* atau komposisi campuran.



Gambar 4.2. Persiapan Material

3. Mencampurkan material - material yang sudah disiapkan sesuai dengan *mix design* menggunakan mesin pengaduk (mesin molen) yang diawali dengan memasukkan

agregat, lalu bahan *cementitious*. Kemudian memasukkan air secara perlahan hingga merata, lalu tambahkan bahan *superplasticizer*.



Gambar 4.3. Proses Pencampuran Material

- Memasukkan campuran beton segar ke dalam cetakan silinder beton yang telah dipersiapkan lalu dipadatkan menggunakan vibrator.



Gambar 4.4. Proses Penuangan dan Pematatan Beton Segar

- Biarkan benda uji silinder beton segar beserta bekistingnya selama 24 jam.



Gambar 4.5. Benda Uji Silinder Beton Segar

4.2.2 Perawatan Benda Uji

Pada pelaksanaan penelitian ini, benda uji yang telah dibiarkan 24 jam menjadi lebih keras dan kering akibat proses kimiawi antara semen dan air yang disebut proses hidrasi. Meskipun telah didiamkan selama 24 jam, beton masih mengalami proses reaksi hidrasi yang dapat berakibat keretakan pada sisi luar beton. Oleh karena itu untuk mengurangi proses hidrasi secara berlebihan maka dilakukan perawatan (*curing*) pada benda uji silinder dengan cara menutup sisi beton yang terkena udara bebas dengan karung goni yang telah dibasahkan untuk menjaga kelembaban. Proses *curing* pada penelitian ini akan dilakukan selama 7 hari dengan karung goni yang dibasahkan setiap 24 jam agar kelembapan tetap terjaga.

Menurut SNI (2491:2014), prosedur pemeliharaan spesimen bahan uji pada umur 28 hari harus dalam keadaan kering udara setelah pada pengujian sebelumnya dalam kondisi lembab dan dilakukan pengeringan 21 hari dengan temperatur 23°C dengan kelembaban sekitar 50%.



Gambar 4.6. Perawatan (*curing*) Benda Uji Silinder

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Setelah perawatan benda uji maka selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik belah beton. Sebelum melakukan pengujian kuat tarik belah beton, benda uji silinder 15 x 30 cm dilakukan capping pada permukaan atas silinder. Capping pada benda uji silinder beton dilakukan bertujuan untuk meratakan permukaan atas benda uji. Capping dilakukan dengan cara melelehkan belerang hingga menjadi cair kemudian benda uji silinder diberikan cairan belerang dengan menggunakan cetakan capping.



Gambar 4.7. Proses Pembuatan Capping

Setelah melakukan capping pada silinder beton selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik belah beton. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah Standar Nasional Indonesia (SNI 2491-2014). Pengujian diawali dengan penandaan garis diameter dari ujung spesimen menggunakan perangkat tertentu untuk memastikan bahwa garis diameter tersebut berada pada bidang aksial yang sama. Baja kanal dengan ukuran 100mm dan flens yang telah diratakan oleh mesin. Kemudian diberikan tanda sesuai ketebalan flens untuk perletakan beton tegak. Untuk beton vertikal, digunakan alat penanda menggunakan alat tulis seperti spidol atau bolpoin. Pengukuran dengan menentukan diameter hingga mendekati 0,25 mm dan panjang spesimen hingga mendekati 2 mm. Diletakkan dua besi ulir ukuran 6mm pada samping-samping bagian bawah blok penahan beban. Kemudian diletakkan spesimen pada alas bantalan plat hingga bagian ujung spesimen tegak lurus dengan bagian tengah bantalan besi. Diletakkan penyangga besi yang telah terdapat spesimen tersebut diatas silinder dengan posisi memanjang hingga tegak lurus dengan garis tengah ujung silinder. Kemudian hitung kuat tarik belah beton dengan rumus berikut :

$$\Sigma_t = 2P / \pi ld$$

dengan :

t = Kuat tarik belah (MPa)

P = Besar gaya yang mampu ditahan silinder (N)

l = Panjang (mm)

d = Diameter (mm)



Gambar 4.8 Proses Pengujian Benda Uji Silinder

Pada penelitian ini benda uji yang dibahas memakai 4 buah benda uji dari setiap kode benda uji dikarenakan dari beberapa kode benda uji silinder memiliki 1 benda uji yang hasil kuat tekan terpaut jauh dari hasil 4 benda uji lainnya. Pada pengujian tarik belah, kekuatan tarik belah diperoleh dari beban maksimal yang diberikan pada sampel dibagi dengan faktor geometri yang tepat (SNI 2491:2014)

Hasil dari hubungan antara kuat tarik belah beton terhadap komposisi semen GGBFS yaitu :

- a. Pada beton umur 7 hari didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah 16,86 MPa pada kadar silika fume 0% dan kadar semen 55% sedangkan pada kadar silika fume 10% didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar yaitu 17,37 MPa pada kadar semen 25%.
- b. Pada beton umur 14 hari didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah 16,12 MPa pada kadar silika fume 0% dan kadar semen 55% sedangkan pada kadar silika fume 10% didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar yaitu 20,25 MPa pada kadar semen 25%.
- c. Pada beton umur 28 hari didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah 16,69 MPa pada kadar silika fume 0% dan kadar semen 65% sedangkan pada kadar silika fume 10% didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar yaitu 24,72 MPa pada kadar semen 45%.
- d. Pada beton umur 56 hari didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah 19,85 MPa pada kadar silika fume 0% dan kadar semen 45% sedangkan

pada kadar silika fume 10% didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar yaitu 20,53 MPa pada kadar semen 55%.

e. Pada beton umur 90 hari didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar adalah 22,22 MPa pada kadar silika fume 0% dan kadar semen 25% sedangkan pada kadar silika fume 10% didapatkan hasil nilai kuat tarik belah beton terbesar yaitu 21,27 MPa pada kadar semen 25%.

4.3.2 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Terhadap Umur Benda Uji

Hasil dari hubungan antara rata-rata kuat tarik belah beton dengan variasi umur beton berdasarkan kadar semen 25% , 45%, 55%, 65% dan masing-masing kaitannya terhadap silika fume 0% dan 10% didapatkan hasil sebagai berikut :

- a. Pada beton dengan kadar semen 25% dan silika fume 0% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 18,52 MPa pada hari ke 90. Sedangkan pada beton dengan kadar semen 25% dan silika fume 10% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 19,06 MPa pada hari ke 90.
- b. Pada beton dengan kadar semen 45% dan silika fume 0% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 17,08 MPa pada hari ke 56. Sedangkan pada beton dengan kadar semen 45% dan silika fume 10% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 18,34 MPa pada hari ke 28.
- c. Pada beton dengan kadar semen 55% dan silika fume 0% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 16,14 MPa pada hari ke 90. Sedangkan pada beton dengan kadar semen 55% dan silika fume 10% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 16,95 MPa pada hari ke 14.
- d. Pada beton dengan kadar semen 65% dan silika fume 0% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 16,07 MPa pada hari ke 9. Sedangkan pada beton dengan kadar semen 65% dan silika fume 10% nilai kuat tarik belah terbesar yaitu 15,92 MPa pada hari ke 90.

4.3.3 Hubungan Kuat Tarik Belah terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume

Hubungan dari kuat tarik belah beton terhadap perbandingan variasi kadar semen GGBFS dan silika fume berdasarkan umur 7, 14, 28, 56, dan 90 hari yaitu :

- a. Pada hari ke 7, perbandingan variasi kadar semen GGBFS dan silika fume terbesar yaitu 16,02 MPa pada 25% GGBFS dan 10% silika fume.

- b. Pada hari ke 14, perbandingan variasi kadar semen GGBFS dan silika fume terbesar yaitu 16,95 MPa pada 55% GGBFS dan 10% silika fume.
- c. Pada hari ke 28, perbandingan variasi kadar semen GGBFS dan silika fume terbesar yaitu 18,55 MPa pada 25% GGBFS dan 10% silika fume.
- d. Pada hari ke 56, perbandingan variasi kadar semen GGBFS dan silika fume terbesar yaitu 17,08 MPa pada 45% GGBFS dan 0% silika fume.
- e. Pada hari ke 90, perbandingan variasi kadar semen GGBFS dan silika fume terbesar yaitu 19,06 MPa pada 25% GGBFS dan 10% silika fume.

4.4 Analisa Varian Dua Arah (*Two-Way Anova*)

Analysis Of Variance atau biasa disingkat ANOVA merupakan sebuah metode yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk menguji perbedaan antar kelompok atau perlakuan atau variasi. Pada penelitian ini terdapat dua variable bebas yaitu variasi kadar Semen GGBFS (A) dan variasi kadar Silika Fume (B) pada benda uji dengan umur 7 Hari, 14 Hari, 28 Hari, 56 Hari, 90 Hari. Pengaruh dari variasi kadar Semen GGBFS dan variasi kadar Silika Fume terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi dapat dinyatakan secara statistik sebagai berikut :

α = Faktor Pengaruh Variasi Kadar Semen GGBFS

β = Faktor Pengaruh Variasi Kadar Silika Fume

$\alpha\beta$ = Interaksi Faktor Pengaruh Variasi Kadar Semen GGBFS dan Variasi Kadar Silika Fume

Berdasarkan faktor pengaruh yang dinyatakan di atas, maka dapat ditentukan formula hipotesis sebagai berikut :

1. $H_01 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$

$$H_11 : \text{setidaknya terdapat satu } \alpha_i \neq 0$$

2. $H_02 : \beta_1 = \beta_2 = 0$

$$H_12 : \text{setidaknya terdapat satu } \beta_i \neq 0$$

3. $H_02 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{24} = 0$

$$H_12 : \text{setidaknya terdapat satu } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$$

Keterangan :

H_0 = hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh dari faktor α , faktor β , atau interaksi keduanya ($\alpha\beta$).

H_1 = hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari faktor α , faktor β , atau interaksi keduanya ($\alpha\beta$).

Dasar pengambilan keputusan yaitu sebagai berikut :

1. Jika $F \text{ hitung } (F) > F \text{ tabel } (F \text{ Crit})$, maka H_0 ditolak, H_1 diterima.
2. Jika $F \text{ hitung } (F) < F \text{ tabel } (F \text{ Crit})$, maka H_0 diterima, H_1 ditolak.

Pada penelitian ini, taraf nyata yang digunakan sebesar 5% atau 0,05. Data yang akan dianalisis menggunakan data hasil penelitian uji kuat tekan beton pada tabel 4.2 sampai 4.5 yang akan ditunjukkan pada tabel berikut :

4.4.1 Analisa Varian Dua Arah Benda Uji Umur 7 Hari

Tabel 4. 2 Hubungan Variasi Kadar Semen GGBFS, Variasi kadar Silika Fume dan Kuat Tarik Belah Beton.

Kadar Silika Fume	Kadar Semen GGBFS				Total
	A1	A2	A3	A4	
	Σ	Σ	Σ	Σ	
B1	11,77 15,39 52,11	11,43 16,52 52,67	13,12 16,86 56,91	11,94 14,54 53,46	215,15
B2	11,88 13,07 15,67 14,99 64,09	13,46 11,26 8,6 13,69 50,4	15,16 11,77 8,94 15,05 56,86	12,67 14,31 12,39 11,37 45,76	217,11
	16,06 17,37	14,42 13,69	17,03 15,84	10,63 11,37	
Total	116,2	103,07	113,77	99,22	432,26

Sumber : Diolah oleh penulis

Tabel 4. 3 Hasil Analisis Varian (ANOVA) Dua Arah Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat JK	Derajat Bebas db	Kuadrat Tengah KT	F hitung	F tabel
Rata-rata Baris	0,12	1	0,12	0,03	4,26
Rata-rata Kolom	25,24	3	8,41	1,81	3,01
Interaksi	25,88	3	8,63	1,85	3,01
Error	111,67	24	4,65		
Total	162,90	31			

Sumber : Diolah oleh penulis



Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) dua arah seperti pada tabel di atas, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut:

1. Faktor Variasi Kadar Silika Fume (Baris)
Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara kadar Silika Fume yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 7 hari.
2. Faktor Variasi Kadar Semen GGBFS (Kolom)
Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara Semen GGBFS yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 7 hari.
3. Interaksi Faktor Variasi Kadar Silika Fume dan Variasi Kadar Semen GGBFS (Interaksi)
Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan yaitu tidak terdapat pengaruh antara interaksi kadar Silika Fume dan kadar semen GGBFS terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 7 hari.

4.4.2 Analisa Varian Dua Arah Benda Uji Umur 14 Hari

Tabel 4. 4 Hubungan Variasi Kadar Semen GGBFS, Variasi kadar Silika Fume dan Kuat Tarik Belah Beton.

Kadar Silika Fume	Kadar Semen GGBFS						Total	
	A1		A2		A3			A4
		Σ		Σ		Σ		
B1	14,71		12,9		13,24		13,97	
	12,44		13,97		15,39		14,93	
	14,08	52,88	13,92	52,33	12,27	57,02	14,08	219,69
	11,65		11,54		16,12		14,48	
B2	14,42		14,71		19,91		13,29	
	20,25		14,93		18,78		15,78	
	13,18	64,25	17,87	61,43	15,44	67,82	16,06	249,38
	16,4		13,92		13,69		10,75	
Total	117,13		113,76		124,84		113,34	469,07

Sumber : Diolah oleh penulis

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Varian (ANOVA) Dua Arah Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari

Sumber	Jumlah	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F	F
--------	--------	---------------	----------------	---	---



Varian	Kuadrat JK	db	KT	hitung	tabel
Rata-rata	27,55	1	27,55	6,52	4,26
Baris					
Rata-rata	10,64	3	3,55	0,84	3,01
Kolom					
Interaksi	13,86	3	4,62	1,09	3,01
Error	101,37	24	4,22		
Total	153,41	31			

Sumber : Diolah oleh penulis

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) dua arah seperti pada tabel di atas, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut:

1. Faktor Variasi Kadar Silika Fume (Baris)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak lalu H_1 diterima. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa terdapat pengaruh antara kadar Silika Fume yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 14 hari.

2. Faktor Variasi Kadar Semen GGBFS (Kolom)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara Semen GGBFS yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 14 hari.

3. Interaksi Faktor Variasi Kadar Silika Fume dan Variasi Kadar Semen GGBFS (Interaksi)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan yaitu tidak terdapat pengaruh antara interaksi kadar Silika Fume dan kadar semen GGBFS terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 14 hari

4.4.3 Analisa Varian Dua Arah Benda Uji Umur 28 Hari

Tabel 4. 6 Hubungan Variasi Kadar Semen GGBFS, Variasi kadar Silika Fume dan Kuat Tarik Belah Beton.

Kadar Silika Fume	Kadar Semen GGBFS				Total
	A1	A2	A3	A4	
	13,8	14,25	14,82	14,88	
B1	14,54	15,39	11,65	12,11	
	57,18	64,88	53,51	56,07	231,65
	13,07	18,04	11,48	12,39	
	15,77	17,2	15,56	16,69	
B2	21,44	16,86	12,61	16,12	
	19,97	24,72	17,48	16,69	
	74,22	73,37	65,1	61,21	273,90
	17,25	16,57	15,44	14,82	
	15,56	15,22	19,57	13,58	
Total	131,4	138,25	118,61	117,28	505,55

Sumber : Diolah oleh penulis

Tabel 4. 7 Hasil Analisis Varian (ANOVA) Dua Arah Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat JK	Derajat Bebas db	Kuadrat Tengah KT	F hitung	F tabel
Rata-rata Baris	55,79	1	55,79	8,96	4,26
Rata-rata Kolom	38,67	3	12,89	2,07	3,01
Interaksi	9,58	3	3,19	0,51	3,01
Error	149,44	24	6,23		
Total	253,48	31			

Sumber : Diolah oleh penulis

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) dua arah seperti pada tabel di atas, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut:

1. Faktor Variasi Kadar Silika Fume (Baris)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak lalu H_1 diterima. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa terdapat pengaruh antara kadar Silika Fume yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 28 hari.

2. Faktor Variasi Kadar Semen GGBFS (Kolom)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara Semen GGBFS yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 28 hari.

3. Interaksi Faktor Variasi Kadar Silika Fume dan Variasi Kadar Semen GGBFS (Interaksi)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan yaitu tidak terdapat pengaruh antara interaksi kadar Silika Fume dan kadar semen GGBFS terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 28 hari.

4.4.4 Analisa Varian Dua Arah Benda Uji Umur 56 Hari

Tabel 4. 8 Hubungan Variasi Kadar Semen GGBFS, Variasi kadar Silika Fume dan Kuat Tarik Belah Beton.

Kadar Silika Fume	Kadar Semen GGBFS								Total
	A1		A2		A3		A4		
	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ		
B1	10,86	13,86	17,42	14,82	50,85	68,33	62,62	61,08	242,88
	14,14	19,85	15,22	14,93					
	9,84	18,67	12,16	13,12					
	16,01	15,95	17,82	18,21					
	17,25	16,51	20,53	18,44					
B2	18,72	14,42	15,33	13,29	66,97	65,44	63,57	62,61	258,59
	13,41	17,14	11,31	12,84					
	17,59	17,37	16,4	18,04					
Total	117,82	113,77	126,19	123,69					501,47

Sumber : Diolah oleh penulis

Tabel 4. 9 Hasil Analisis Varian (ANOVA) Dua Arah Kuat Tarik Belah Beton Umur 56 Hari

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat JK	Derajat Bebas db	Kuadrat Tengah KT	F hitung	F tabel
Rata-rata Baris	7,71	1	7,71	1,08	4,26
Rata-rata Kolom	16,38	3	5,46	0,76	3,01
Interaksi	26,22	3	8,74	1,22	3,01
Error	171,68	24	7,15		
Total	221,99	31			

Sumber : Diolah oleh penulis

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) dua arah seperti pada tabel di atas, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut:

1. Faktor Variasi Kadar Silika Fume (Baris)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara kadar Silika Fume yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 56 hari.

2. Faktor Variasi Kadar Semen GGBFS (Kolom)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara Semen GGBFS yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 56 hari.

3. Interaksi Faktor Variasi Kadar Silika Fume dan Variasi Kadar Semen GGBFS (Interaksi)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan yaitu tidak terdapat pengaruh antara interaksi kadar Silika Fume dan kadar semen GGBFS terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 56 hari.

4.4.5 Analisa Varian Dua Arah Benda Uji Umur 90 Hari

Tabel 4. 10 Hubungan Variasi Kadar Semen GGBFS, Variasi kadar Silika Fume dan Kuat Tarik Belah Beton.

Kadar Silika Fume	Kadar Semen GGBFS						Total		
	A1	Σ	A2	Σ	A3	Σ		A4	Σ
B1	17,42		16,23		17,08		18,21		
	18,16		16,86		14,99		11,65		
	16,29	74,09	10,92	54,02	15,27	64,59	17,65	64,31	
	22,22		10,01		17,25		16,8		
B2	16,57		20,53		13,46		11,6		
	21,27		13,75		16,52		12,95		
	17,31	76,25	15,67	70,88	15,78	63,07	18,95	63,69	
	21,1		20,93		17,31		20,19		
Total		150,34		124,9		127,66		128	530,9

Sumber : Diolah oleh penulis

Tabel 4. 11 Hasil Analisis Varian (ANOVA) Dua Arah Kuat Tarik Belah Beton Umur 90 Hari

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat JK	Derajat Bebas db	Kuadrat Tengah KT	F hitung	F tabel
Rata-rata Baris	8,90	1	8,90	1,02	4,26
Rata-rata Kolom	52,44	3	17,48	2,01	3,01
Interaksi	27,55	3	9,18	1,06	3,01
Error	208,56	24	8,69		
Total	297,45	31			

Sumber : Diolah oleh penulis

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) dua arah seperti pada tabel di atas, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut:

1. Faktor Variasi Kadar Silika Fume (Baris)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak.

Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara kadar Silika

Fume yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 90 hari.

2. Faktor Variasi Kadar Semen GGBFS (Kolom)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan bahwa tidak terdapat pengaruh antara Semen GGBFS yang digunakan terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 90 hari.

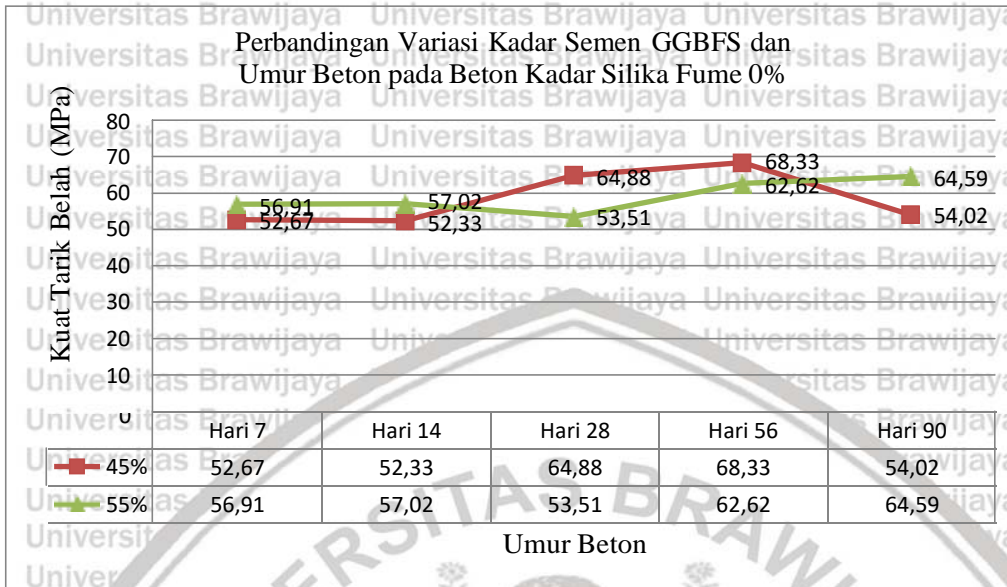
3. Interaksi Faktor Variasi Kadar Silika Fume dan Variasi Kadar Semen GGBFS (Interaksi)

Berdasarkan hasil analisis, nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima lalu H_1 ditolak. Sehingga dapat diambil keputusan yaitu tidak terdapat pengaruh antara interaksi kadar Silika Fume dan kadar semen GGBFS terhadap kuat tarik belah beton mutu tinggi pada saat umur 90 hari.



4.5 Analisis Mutu Beton

4.5.1 Analisis umur beton yang mengalami penambahan kuat tarik belah paling efektif pada beton dengan kadar silika fume 0%

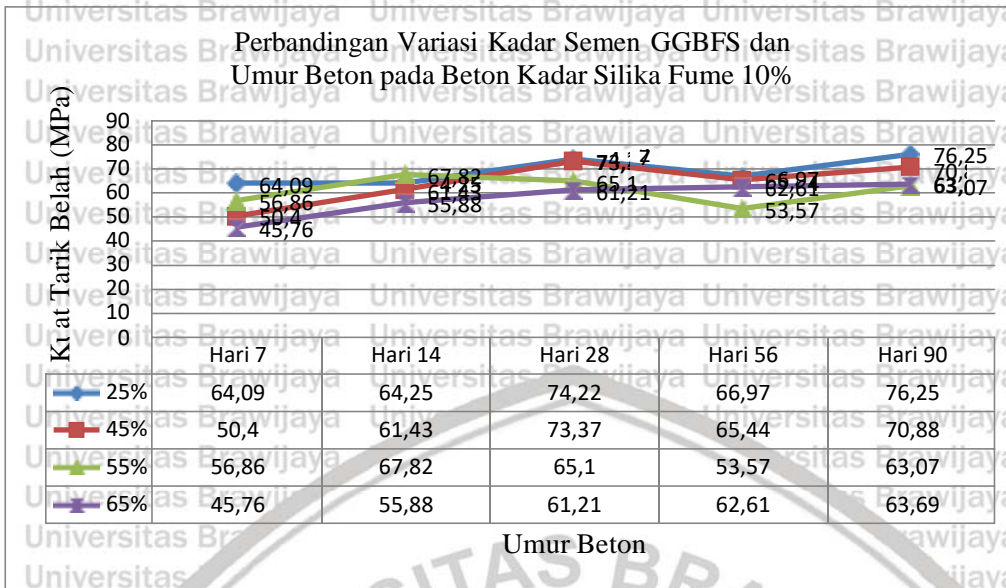


Gambar 4. 7 Grafik Batang Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Umur Beton pada Beton Kadar Silika Fume 0%.

Hasil analisis grafik diatas menunjukkan hubungan antara umur beton dan kuat tarik belah mengalami perubahan yang dapat naik maupun turun. Perubahan yang signifikan terjadi pada semen GGBFS 45% pada hari ke 56 yang mulanya meningkat kemudian pada hari ke 90 menurun. Sama halnya dengan GGBFS 25% akan tetapi pada kadar semen ini yang mulanya stabil hingga hari ke 28 kemudian menurun pada hari ke 56 dan meningkat drastic pada hari ke 90. Kesimpulan dari grafik ini yaitu beton dengan kadar silika fume 0% akan bekerja optimum apabila dengan campuran semen GGBFS 25% dikarenakan hasil terbesar pada silika fume 0% yaitu pada kadar semen 25% hari ke 90.



4.5.2 Analisis umur beton yang mengalami penambahan kuat tarik belah paling efektif pada beton dengan kadar silika fume 10%



Gambar 4. 8 Grafik Batang Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Umur Beton pada Beton Kadar Silika Fume 10%.

Pada hasil analisis grafik diatas, didapatkan hasil bahwa hubungan antara umur beton dan silika fume 10% dapat meningkat maupun menurun. Hasil menurun yaitu pada hari ke 56 dengan kadar semen GGBFS 25%, 45%, dan 55% . Hasil optimum didapatkan dari kadar semen 65% pada hari ke 90. Pada kadar semen 65% hasilnya selalu meningkat. Sehingga untuk beton dengan kadar silika fume 10% akan optimum pada campuran kadar semen GGBFS 65%.

4.5.3 Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik belah beton, dapat diketahui mutu beton yang dihasilkan dalam mencapai beton mutu tinggi. Menurut Hidayat (2014), hubungan kuat tarik dan kuat tekannya (f_c) yaitu sebesar $0,5\sqrt{f_c} - 0,6\sqrt{f_c}$. Disini peneliti mengambil korelasi koefisien 0,5.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Nilai kuat tarik belah mengalami perubahan nilai kuat tarik belah beton. Hal ini dibuktikan pada hasil grafik pada pembahasan dan tidak ada beda nyata. Nilai kuat tarik belah beton pada benda uji silinder yang menggunakan variasi umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 90 hari mengalami peningkatan dan penurunan. Hal ini juga dipengaruhi oleh kadar semen GGBFS dan silika fume. Sedangkan nilai kuat tarik belah beton pada benda uji silinder yang menggunakan variasi mutu $>3,22$ MPa akan mengalami peningkatan nilai kuat tarik belah beton seiring semakin besarnya mutu beton. Hal ini dibuktikan dengan hasil kuat tarik belah pada seluruh benda uji yang bernilai diatas standar mutu tinggi kuat tarik belah beton.

5.2 Saran

Penelitian ini memiliki kekurangan dan kendala yang terjadi. Pada proses pembuatan benda uji hingga saat pengujian benda uji. Oleh karena itu, terdapat beberapa saran bagi peneliti selanjutnya untuk menunjang dan menyempurnakan penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini, diantaranya sebagai berikut :

1. Pada perencanaan beton mutu tinggi, FAS yang rendah memberikan kesulitan pada proses pengerjaan, namun meningkatkan FAS berdampak penurunan kekuatan beton. Oleh karena itu sebaiknya lakukan penelitian pada *superplastisizer* yang dibutuhkan pada komposisi campuran yang direncanakan, sehingga mendapatkan kemudahan pada proses pengerjaan tanpa menurunkan kekuatan beton.
2. Bahan semen GGBFS cenderung lebih lama peningkatan kekuatannya. Oleh karena itu pengujian pada umur benda uji beton 56 hari dan 90 hari dapat dilakukan untuk mengetahui kekuatan optimum bahan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama
- Badan Standar Nasional : Standar Nasional Indonesia 7394:2008.
- Cain, Craig J. 1994. *Mineral Admixture Significance of test and Properties of Concrete and Concrete Making Material STP 169 C*, Philadelphia, ASTM. Pp. 500-508.
- Hidayat, Singgih. 2014. *Tinjauan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Sebagian Semen Diganti Tanah Pozolan Dari Kecamatan Tulakan*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Lewis, Donald W. 1982. *Properties and Uses of Iron and Steel*. NSA Presented a Symposium
- Mehta. P.K. and R.W. Burrows. 2001. *Building Durable Structures in the 21st Century*. Concrete International.
- Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Nasional, Badan Standarisasi. 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- Nasional, Badan Standarisasi. *SNI 03-6821-2002 Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Pasangan Dinding*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Nasional, Badan Standarisasi. 1989. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-1989-F)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB.
- Nasional, Badan Standarisasi. *SNI 15-2049-2004 Semen portland*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Nasional, Badan Standarisasi. *SNI 8379:2017 Spesifikasi Material Pilihan (Selected Material) Menggunakan Slag untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Tarun .R.N., 2008. *Sustainability of Concrete Construction*. Practice Periodical on Structural Design and Construction. ASCE Journal.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik

LAMPIRAN

1. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari tanpa Kandungan Silika Fume

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat	Kuat Tarik Belah	
						(kg)	kN
1	A1B1	1	30	15	13,5	208	11,77
		2	30	15	13,4	272	15,39
		3	30	15	13,35	210	11,88
		4	30	15	13,35	231	13,07
2	A2B1	1	30	15	13,55	202	11,43
		2	30	15	13,55	292	16,52
		3	30	15	13,4	238	13,46
		4	30	15	13,45	199	11,26
3	A3B1	1	30	15	13,05	232	13,12
		2	30	15	13,55	298	16,86
		3	30	15	13,75	268	15,16
		4	30	15	13,25	208	11,77
4	A4B1	1	30	15	13,35	211	11,94
		2	30	15	13,3	257	14,54
		3	30	15	13,3	224	12,67
		4	30	15	13,5	253	14,31

2. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari Kandungan Silika Fume 10%

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat	Kuat Tarik Belah	
						(kg)	kN
1	A1B2	1	30	15	13,45	277	15,67
		2	30	15	13,45	265	14,99
		3	30	15	13,3	284	16,06
		4	30	15	13,55	307	17,37
2	A2B2	1	30	15	13,45	152	8,6
		2	30	15	13,25	242	13,69
		3	30	15	13,4	255	14,42
		4	30	15	13,15	242	13,69
3	A3B2	1	30	15	13,15	158	8,94



		2	30	15	13,5	266	15,05
		3	30	15	13,2	301	17,03
		4	30	15	13,15	280	15,84
4	A4B2	1	30	15	13,25	219	12,39
		2	30	15	13	201	11,37
		3	30	15	13,5	188	10,63
		4	30	15	13,35	201	11,37

3. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari tanpa Kandungan Silika Fume

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat	Kuat Tarik Belah	
			(cm)	(cm)		kN	MPA
1	A1B1	1	30	15	13,65	260	14,71
	A1B1	2	30	15	13,45	220	12,44
	A1B1	3	30	15	13,05	249	14,08
	A1B1	4	30	15	13,3	206	11,65
2	A2B1	1	30	15	13,65	228	12,9
	A2B1	2	30	15	13,6	247	13,97
	A2B1	3	30	15	13,45	246	13,92
	A2B1	4	30	15	13,6	204	11,54
3	A3B1	1	30	15	13,5	234	13,24
	A3B1	2	30	15	13,65	272	15,39
	A3B1	3	30	15	13,4	217	12,27
	A3B1	4	30	15	13,8	285	16,12
4	A4B1	1	30	15	13,65	247	13,97
	A4B1	2	30	15	12,8	264	14,93
	A4B1	3	30	15	13,5	249	14,08
	A4B1	4	30	15	13,15	256	14,48

4. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari Kandungan Silika Fume 10%

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat	Kuat Tarik Belah	
			(cm)	(cm)		kN	MPA
1	A1B2	1	30	15	13,4	255	14,42

	A1B2	2	30	15	13,1	358	20,25
	A1B2	3	30	15	13,4	233	13,18
	A1B2	4	30	15	13,4	290	16,4
2	A2B2	1	30	15	13	260	14,71
	A2B2	2	30	15	13,25	264	14,93
	A2B2	3	30	15	13,5	316	17,87
	A2B2	4	30	15	13,2	246	13,92
3	A3B2	1	30	15	13,15	352	19,91
	A3B2	2	30	15	13,2	332	18,78
	A3B2	3	30	15	13,35	273	15,44
	A3B2	4	30	15	13,35	242	13,69
4	A4B2	1	30	15	13,35	235	13,29
	A4B2	2	30	15	12,9	279	15,78
	A4B2	3	30	15	13,25	284	16,06
	A4B2	4	30	15	13,05	190	10,75

5. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari tanpa Kandungan Silika Fume

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat (kg)	Kuat Tarik Belah	
						KN	MPA
1	A1B1	1	30	15	13,25	244	13,8
	A1B1	2	30	15	13,3	257	14,54
	A1B1	3	30	15	13,35	231	13,07
	A1B1	4	30	15	13,7	279	15,778
2	A2B1	1	30	15	13,35	252	14,25
	A2B1	2	30	15	13,5	272	15,39
	A2B1	3	30	15	13,1	319	18,04
	A2B1	4	30	15	13,7	304	17,2
3	A3B1	1	30	15	13,35	262	14,82
	A3B1	2	30	15	13,7	206	11,65
	A3B1	3	30	15	13,4	203	11,48
	A3B1	4	30	15	13,5	275	15,56
4	A4B1	1	30	15	13,3	263	14,88

	A4B1	2	30	15	13,15	214	12,11
	A4B1	3	30	15	13,5	219	12,39
	A4B1	4	30	15	13,55	295	16,69

6. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari Kandungan Silika Fume 10%

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat (kg)	Kuat Tarik Belah	
						kN	MPA
1	A1B2	1	30	15	13,1	379	21,44
	A1B2	2	30	15	13,7	353	19,97
	A1B2	3	30	15	13,35	305	17,25
	A1B2	4	30	15	13,45	275	15,56
2	A2B2	1	30	15	13,25	298	16,86
	A2B2	2	30	15	13,25	437	24,72
	A2B2	3	30	15	13,55	293	16,57
	A2B2	4	30	15	12,95	269	15,22
3	A3B2	1	30	15	13,25	223	12,61
	A3B2	2	30	15	13,2	309	17,48
	A3B2	3	30	15	13,3	273	15,44
	A3B2	4	30	15	13,35	346	19,57
4	A4B2	1	30	15	13,35	285	16,12
	A4B2	2	30	15	13,3	295	16,69
	A4B2	3	30	15	13,15	262	14,82
	A4B2	4	30	15	13,35	240	13,58

7. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 56 Hari tanpa Kandungan Silika Fume

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat (kg)	Kuat Tarik Belah	
						kN	MPA
1	A1B1	1	30	15	13,61	192	10,86
	A1B1	2	30	15	13,39	250	14,14
	A1B1	3	30	15	13,65	174	9,84
	A1B1	4	30	15	13,19	283	16,01
2	A2B1	1	30	15	13,58	245	13,86



	A2B1	2	30	15	13,37	351	19,85
	A2B1	3	30	15	13,52	330	18,67
	A2B1	4	30	15	13,57	282	15,95
3	A3B1	1	30	15	13,41	308	17,42
	A3B1	2	30	15	13,4	269	15,22
	A3B1	3	30	15	13,33	215	12,16
	A3B1	4	30	15	13,43	315	17,82
4	A4B1	1	30	15	13,55	262	14,82
	A4B1	2	30	15	13,48	264	14,93
	A4B1	3	30	15	13,55	232	13,12
	A4B1	4	30	15	13,26	322	18,21

8. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 56 Hari Kandungan Silika Fume 10%

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat	Kuat Tarik Belah	
						(kg)	kN
1	A1B2	1	30	15	13,47	305	17,25
	A1B2	2	30	15	13,56	331	18,72
	A1B2	3	30	15	13,3	237	13,41
	A1B2	4	30	15	13,67	311	17,59
2	A2B2	1	30	15	13,37	292	16,51
	A2B2	2	30	15	13,17	255	14,42
	A2B2	3	30	15	13,3	303	17,14
	A2B2	4	30	15	13,17	307	17,37
3	A3B2	1	30	15	13,43	363	20,53
	A3B2	2	30	15	13,34	271	15,33
	A3B2	3	30	15	12,36	200	11,31
	A3B2	4	30	15	13,54	290	16,4
4	A4B2	1	30	15	13,17	326	18,44
	A4B2	2	30	15	13,26	235	13,29
	A4B2	3	30	15	13,47	227	12,84
	A4B2	4	30	15	13,13	319	18,04

9. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 90 Hari tanpa Kandungan Silika Fume

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat (kg)	Kuat Tarik Belah	
						kN	MPA
1	A1B1	1	30	15	13,43	308	17,42
	A1B1	2	30	15	13,64	321	18,16
	A1B1	3	30	15	13,29	288	16,29
	A1B1	4	30	15	12,52	216	22,22
2	A2B1	1	30	15	13,54	287	16,23
	A2B1	2	30	15	13,12	298	16,86
	A2B1	3	30	15	13,52	193	10,92
	A2B1	4	30	15	13,46	283	10,01
3	A3B1	1	30	15	13,3	302	17,08
	A3B1	2	30	15	13,59	265	14,99
	A3B1	3	30	15	13,3	270	15,27
	A3B1	4	30	15	13,49	305	17,25
4	A4B1	1	30	15	13,67	322	18,21
	A4B1	2	30	15	13,19	206	11,65
	A4B1	3	30	15	13,34	312	17,65
	A4B1	4	30	15	13,4	297	16,8

10. Data Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 90 Hari Kandungan Silika Fume 10%

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Tinggi	Diameter	Berat (kg)	Kuat Tarik Belah	
						kN	MPA
1	A1B2	1	30	15	13,53	293	16,57
	A1B2	2	30	15	13,49	376	21,27
	A1B2	3	30	15	13,5	306	17,31
	A1B2	4	30	15	13,52	373	21,1
2	A2B2	1	30	15	13	363	20,53
	A2B2	2	30	15	13,5	243	13,75
	A2B2	3	30	15	13,47	277	15,67
	A2B2	4	30	15	13,45	370	20,93
3	A3B2	1	30	15	13,26	238	13,46
	A3B2	2	30	15	12,49	292	16,52
	A3B2	3	30	15	13,32	279	15,78



	A3B2	4	30	15	13,49	306	17,31
4	A4B2	1	30	15	13,33	205	11,6
	A4B2	2	30	15	13,36	229	12,95
	A4B2	3	30	15	13,17	335	18,95
	A4B2	4	30	15	13,04	357	20,19

11. Kuat Tarik Belah Beton dengan variasi komposisi Semen GGBFS dan 0% Silika

Fume

No	Kode Benda Uji	Kadar Semen GGBFS (%)	No. Benda Uji	Berat Jenis (kg/m ³)	Beban Maks (KN)	Kuat Tarik Belah (MPA)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPA)
1	A1B1C1	25	1	13,5	208	11,77	13,02
			2	13,4	272	15,39	
			3	13,35	210	11,88	
			4	13,35	231	13,07	
2	A2B1C1	45	1	13,55	202	11,43	13,16
			2	13,55	292	16,52	
			3	13,4	238	13,46	
			4	13,45	199	11,26	
3	A3B1C1	55	1	13,05	232	13,12	14,22
			2	13,55	298	16,86	
			3	13,75	268	15,16	
			4	13,25	208	11,77	
4	A4B1C1	65	1	13,35	211	11,94	13,36
			2	13,3	257	14,54	
			3	13,3	224	12,67	
			4	13,5	253	14,31	
5	A1B1C2	25	1	13,65	260	14,71	13,22
			2	13,45	220	12,44	
			3	13,05	249	14,08	
			4	13,3	206	11,65	
6	A2B1C2	45	1	13,65	228	12,9	13,08



		45	2	13,6	247	13,97	
		45	3	13,45	246	13,92	
		45	4	13,6	204	11,54	
7	A3B1C2	55	1	13,5	234	13,24	
		55	2	13,65	272	15,39	
		55	3	13,4	217	12,27	
		55	4	13,8	285	16,12	14,25
8	A4B1C2	65	1	13,65	247	13,97	
		65	2	12,8	264	14,93	
		65	3	13,5	249	14,08	
		65	4	13,15	256	14,48	14,29
9	A1B1C3	25	1	13,25	244	13,8	
		25	2	13,3	257	14,54	
		25	3	13,35	231	13,07	
		25	4	13,7	279	15,78	14,29
10	A2B1C3	45	1	13,35	252	14,25	
		45	2	13,5	272	15,39	
		45	3	13,1	319	18,04	
		45	4	13,7	304	17,2	16,22
11	A3B1C3	55	1	13,35	262	14,82	
		55	2	13,7	206	11,65	
		55	3	13,4	203	11,48	
		55	4	13,5	275	15,56	13,37
12	A4B1C3	65	1	13,3	263	14,88	
		65	2	13,15	214	12,11	
		65	3	13,5	219	12,39	
		65	4	13,55	295	16,69	14,01
13	A1B1C4	25	1	13,61	192	10,86	
		25	2	13,39	250	14,14	
		25	3	13,65	174	9,84	
		25	4	13,19	283	16,01	12,71
14	A2B1C4	45	1	13,58	245	13,86	
		45	2	13,37	351	19,85	17,08



		45	3	13,52	330	18,67	
		45	4	13,57	282	15,95	
15	A3B1C4	55	1	13,41	308	17,42	
		55	2	13,4	269	15,22	
		55	3	13,33	215	12,16	
		55	4	13,43	315	17,82	15,65
16	A4B1C4	65	1	13,55	262	14,82	
		65	2	13,48	264	14,93	
		65	3	13,55	232	13,12	
		65	4	13,26	322	18,21	15,27
17	A1B1C5	25	1	13,43	308	17,42	
		25	2	13,64	321	18,16	
		25	3	13,29	288	16,29	
		25	4	12,52	216	22,22	18,52
18	A2B1C5	45	1	13,54	287	16,23	
		45	2	13,12	298	16,86	
		45	3	13,52	193	10,92	
		45	4	13,46	283	10,01	13,5
19	A3B1C5	55	1	13,3	302	17,08	
		55	2	13,59	265	14,99	
		55	3	13,3	270	15,27	
		55	4	13,49	305	17,25	16,14
20	A4B1C5	65	1	13,67	322	18,21	
		65	2	13,19	206	11,65	
		65	3	13,34	312	17,65	
		65	4	13,4	297	16,8	16,07

12. Kuat Tarik Belah Beton dengan variasi komposisi Semen GGBFS dan 10% Silika Fume

No	Kode Benda Uji	Kadar Semen GGBFS (%)	No. Benda Uji	Berat Jenis (kg/m ³)	Beban Maks (KN)	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	A1B2C1	25	1	13,45	277	15,67

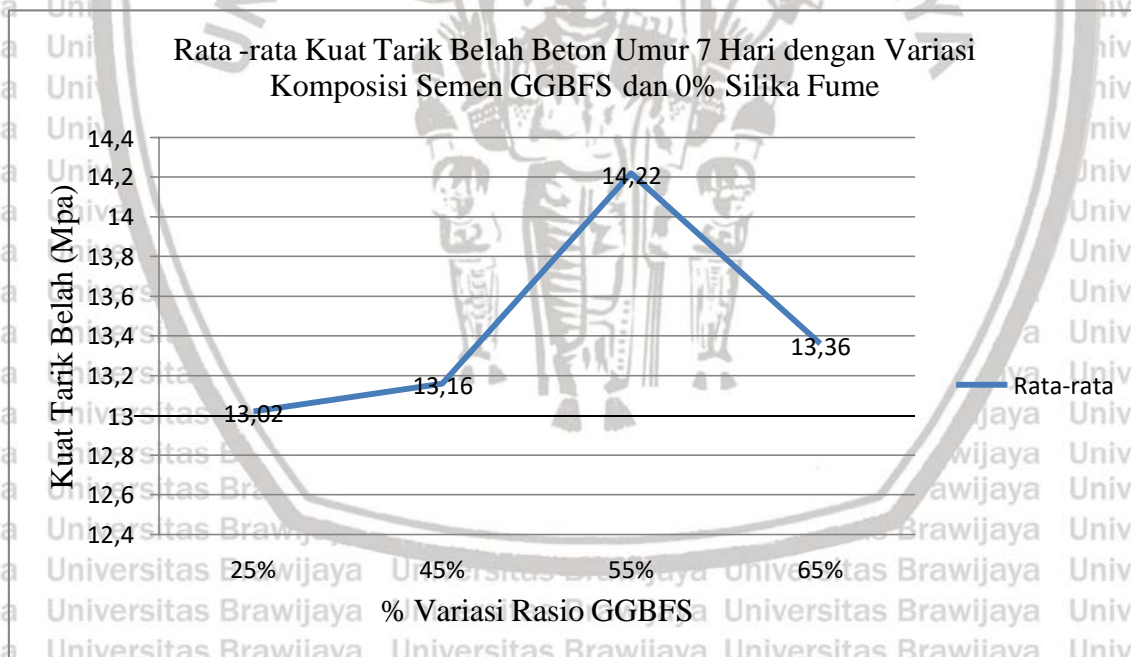


			2	13,45	265	14,99
			3	13,3	284	16,06
			4	13,55	307	17,37
2	A2B2C1	45	1	13,45	152	8,6
			2	13,25	242	13,69
			3	13,4	255	14,42
			4	13,15	242	13,69
3	A3B2C1	55	1	13,15	158	8,94
			2	13,5	266	15,05
			3	13,2	301	17,03
			4	13,15	280	15,84
4	A4B2C1	65	1	13,25	219	12,39
			2	13	201	11,37
			3	13,5	188	10,63
			4	13,35	201	11,37
5	A1B2C2	25	1	13,4	255	14,42
			2	13,1	358	20,25
			3	13,4	233	13,18
			4	13,4	290	16,4
6	A2B2C2	45	1	13	260	14,71
			2	13,25	264	14,93
			3	13,5	316	17,87
			4	13,2	246	13,92
7	A3B2C2	55	1	13,15	352	19,91
			2	13,2	332	18,78
			3	13,35	273	15,44
			4	13,35	242	13,69
8	A4B2C2	65	1	13,35	235	13,29
			2	12,9	279	15,78
			3	13,25	284	16,06
			4	13,05	190	10,75
9	A1B2C3	25	1	13,1	379	21,44
			2	13,7	353	19,97

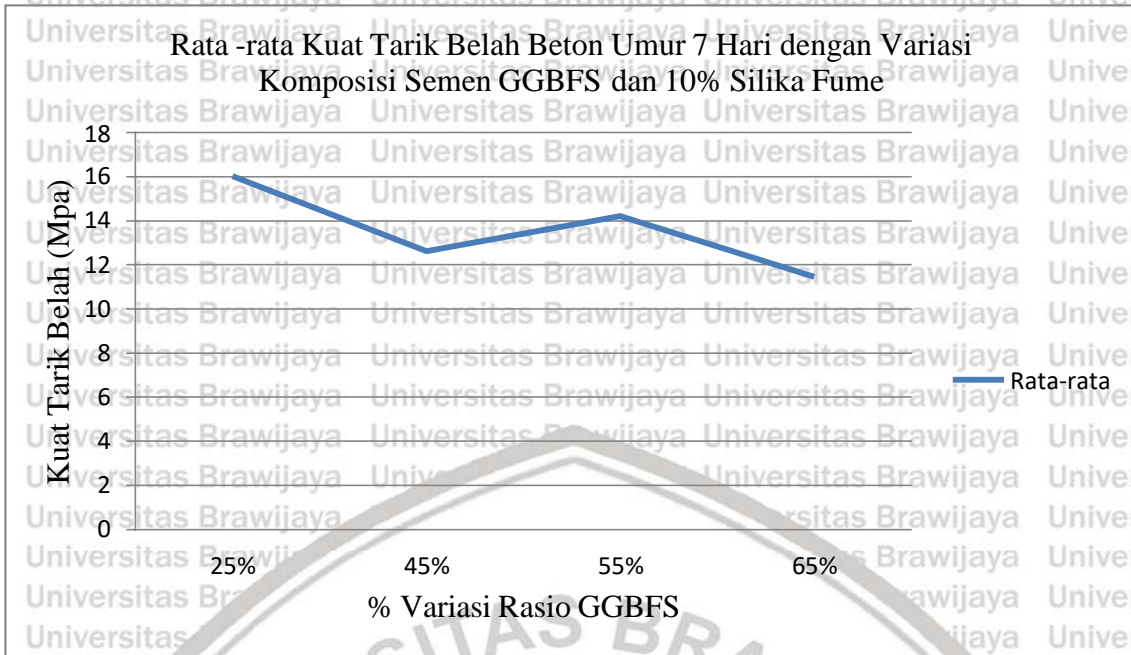
			3	13,35	305	17,25
			4	13,45	275	15,56
10	A2B2C3	45	1	13,25	298	16,86
			2	13,25	437	24,72
			3	13,55	293	16,57
			4	12,95	269	15,22
11	A3B2C3	55	1	13,25	223	12,61
			2	13,2	309	17,48
			3	13,3	273	15,44
			4	13,35	346	19,57
12	A4B2C3	65	1	13,35	285	16,12
			2	13,3	295	16,69
			3	13,15	262	14,82
			4	13,35	240	13,58
13	A1B2C4	25	1	13,47	305	17,25
			2	13,56	331	18,72
			3	13,3	237	13,41
			4	13,67	311	17,59
14	A2B2C4	45	1	13,37	292	16,51
			2	13,17	255	14,42
			3	13,3	303	17,14
			4	13,17	307	17,37
15	A3B2C4	55	1	13,43	363	20,53
			2	13,34	271	15,33
			3	12,36	200	11,31
			4	13,54	290	16,4
16	A4B2C4	65	1	13,17	326	18,44
			2	13,26	235	13,29
			3	13,47	227	12,84
			4	13,13	319	18,04
17	A1B2C5	25	1	13,53	293	16,57
			2	13,49	376	21,27
			3	13,5	306	17,31

			4	13,52	373	21,1
18	A2B2C5	45	1	13	363	20,53
			2	13,5	243	13,75
			3	13,47	277	15,67
			4	13,45	370	20,93
19	A3B2C5	55	1	13,26	238	13,46
			2	12,49	292	16,52
			3	13,32	279	15,78
			4	13,49	306	17,31
20	A4B2C5	65	1	13,33	205	11,6
			2	13,36	229	12,95
			3	13,17	335	18,95
			4	13,04	357	20,19

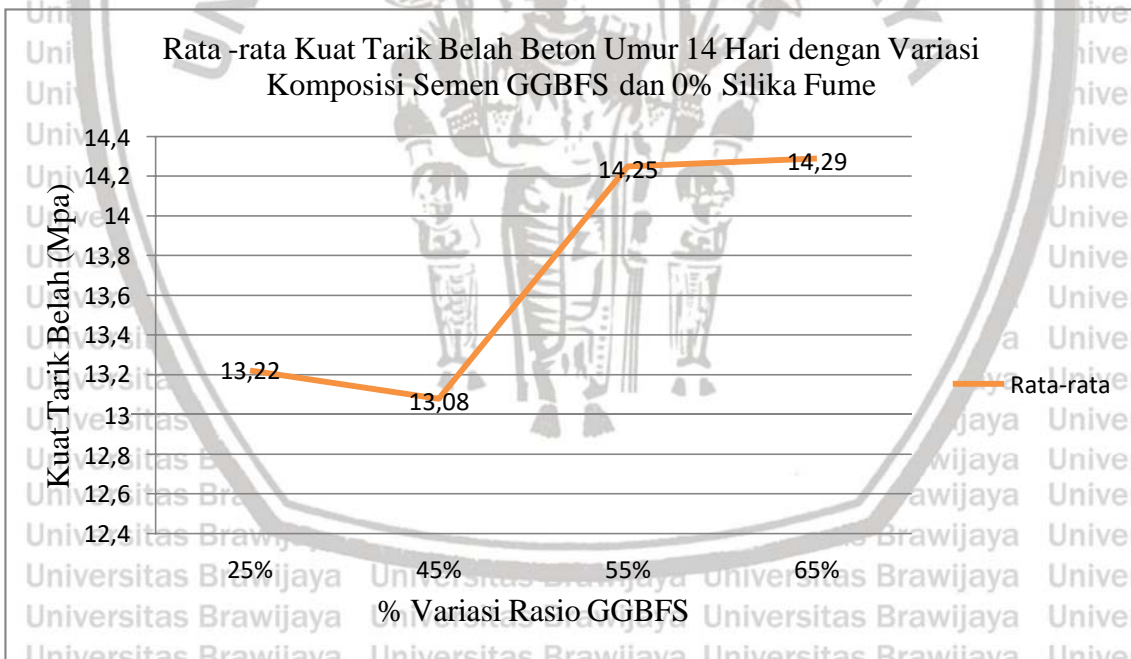
1. Grafik garis rata-rata kuat tarik belah beton dengan variasi komposisi semen GGBFS 0% dan 10%



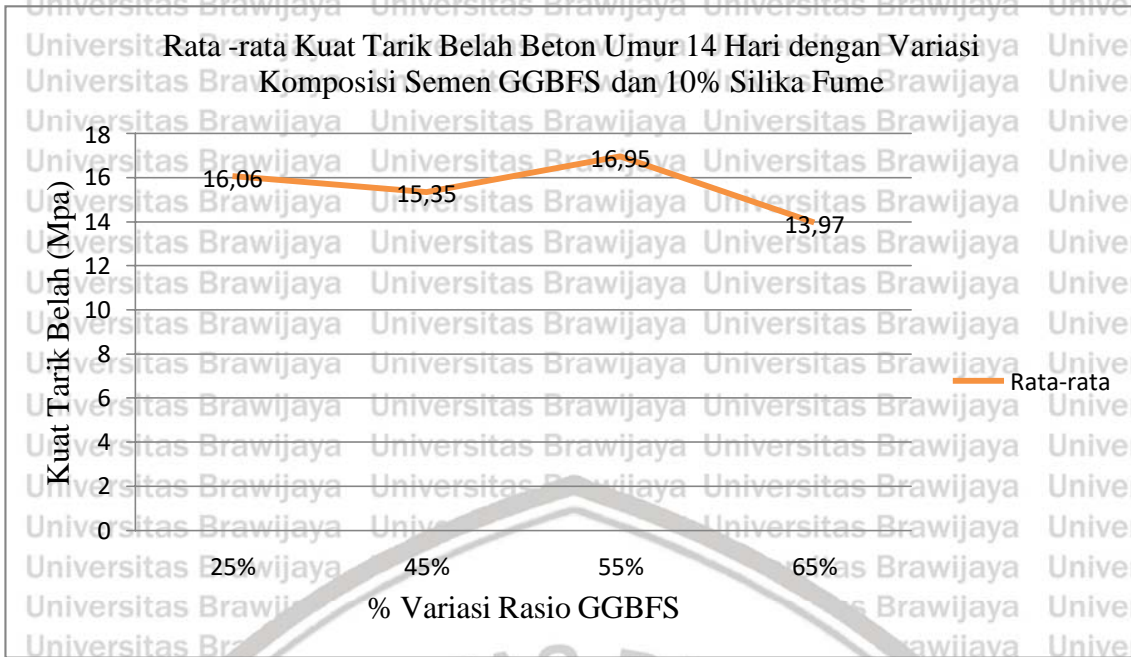
Lampiran 1 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 0% Silika Fume



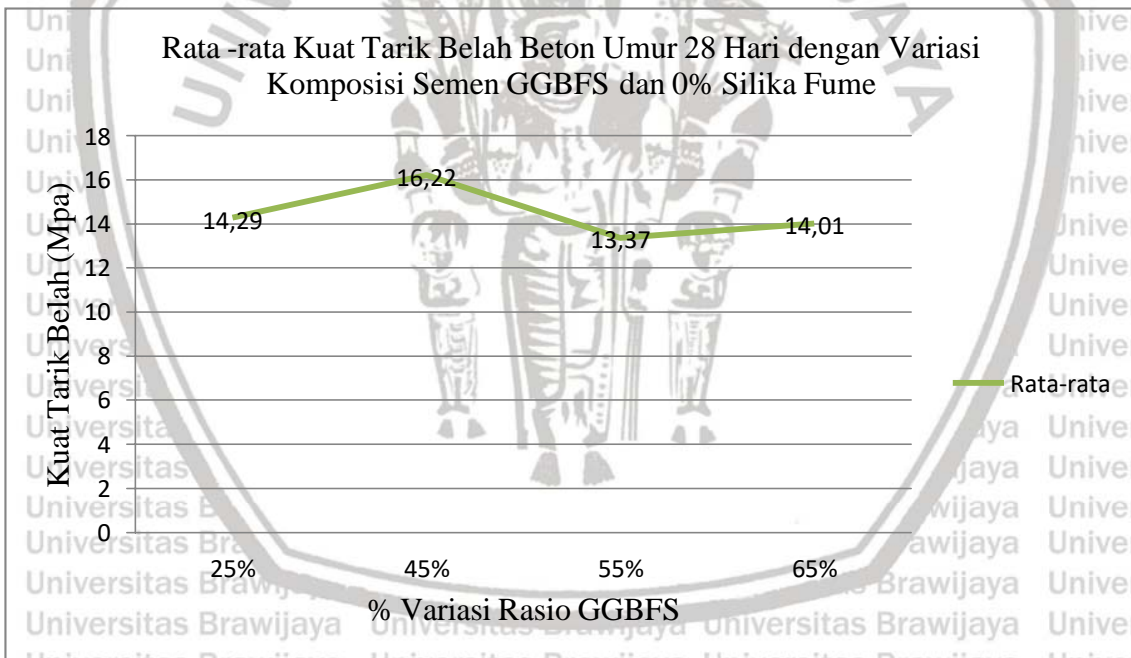
Lampiran 2 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 10% Silika Fume



Lampiran 3 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 0% Silika Fume

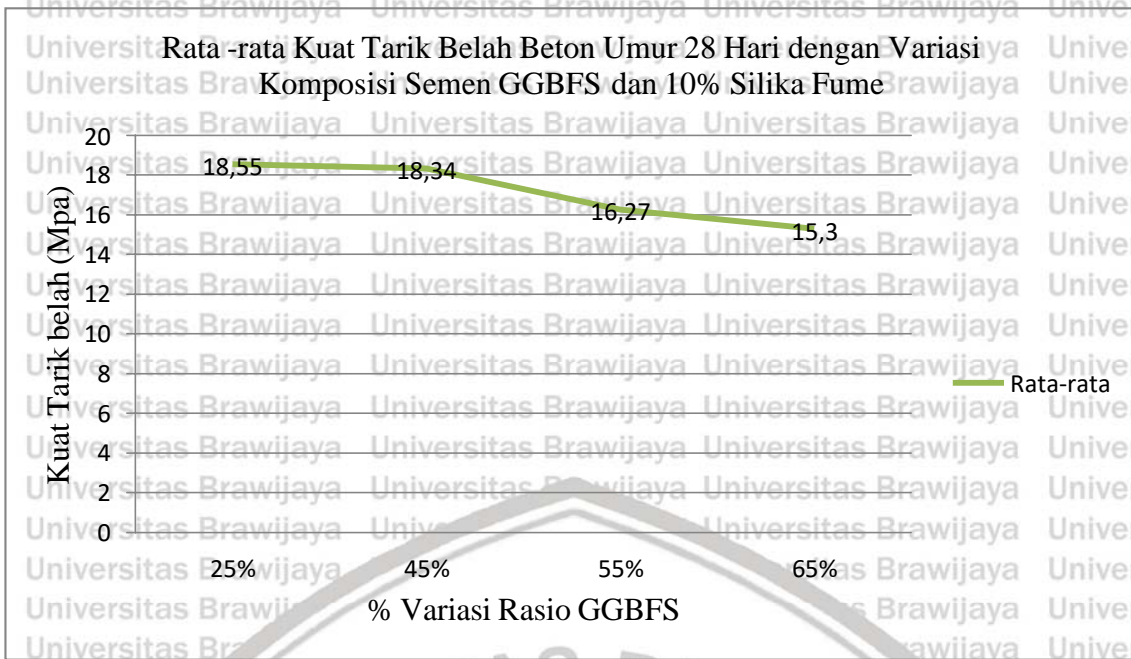


Lampiran 4 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 14 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 10% Silika Fume

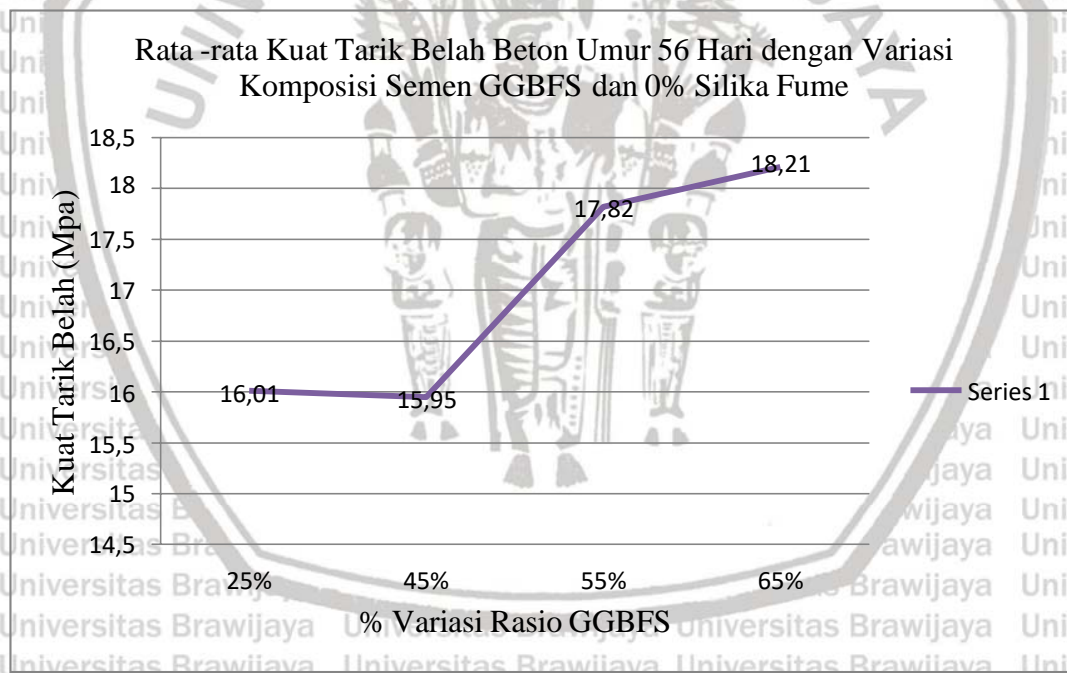


Lampiran 5 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 0% Silika Fume



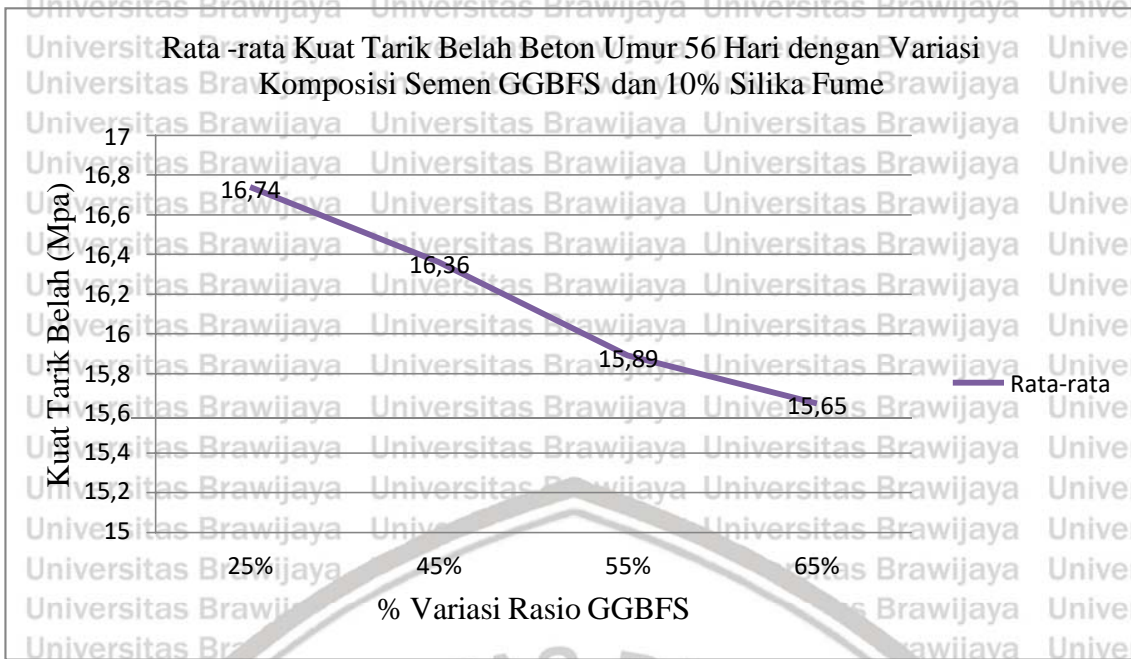


Lampiran 6 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 10% Silika Fume

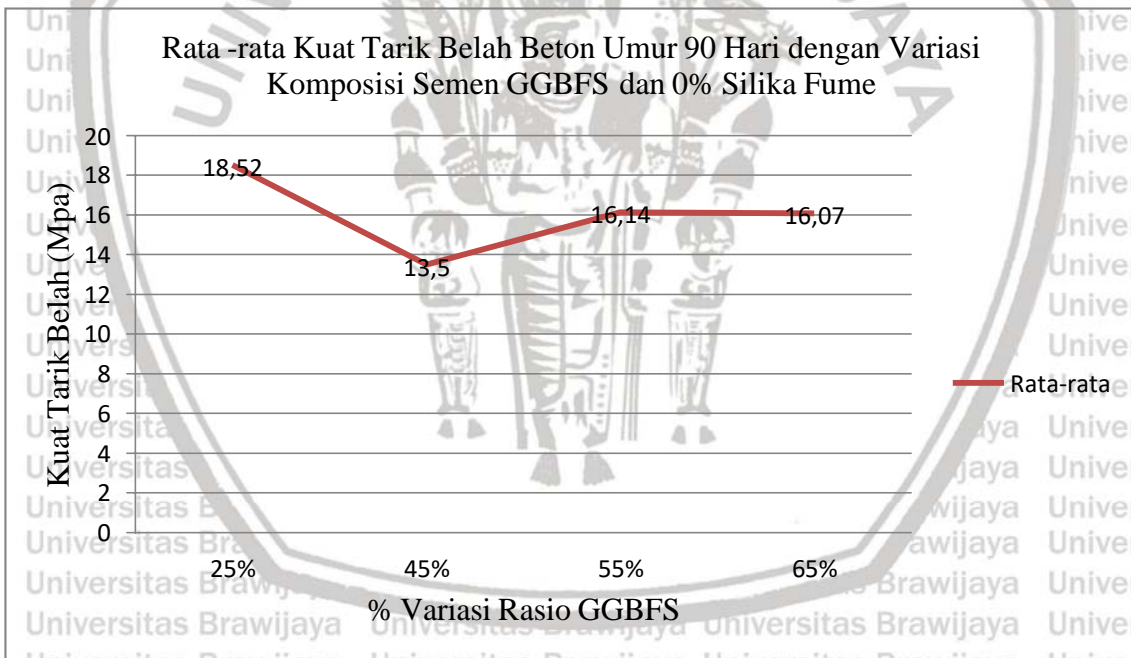


Lampiran 7 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 56 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 0% Silika Fume



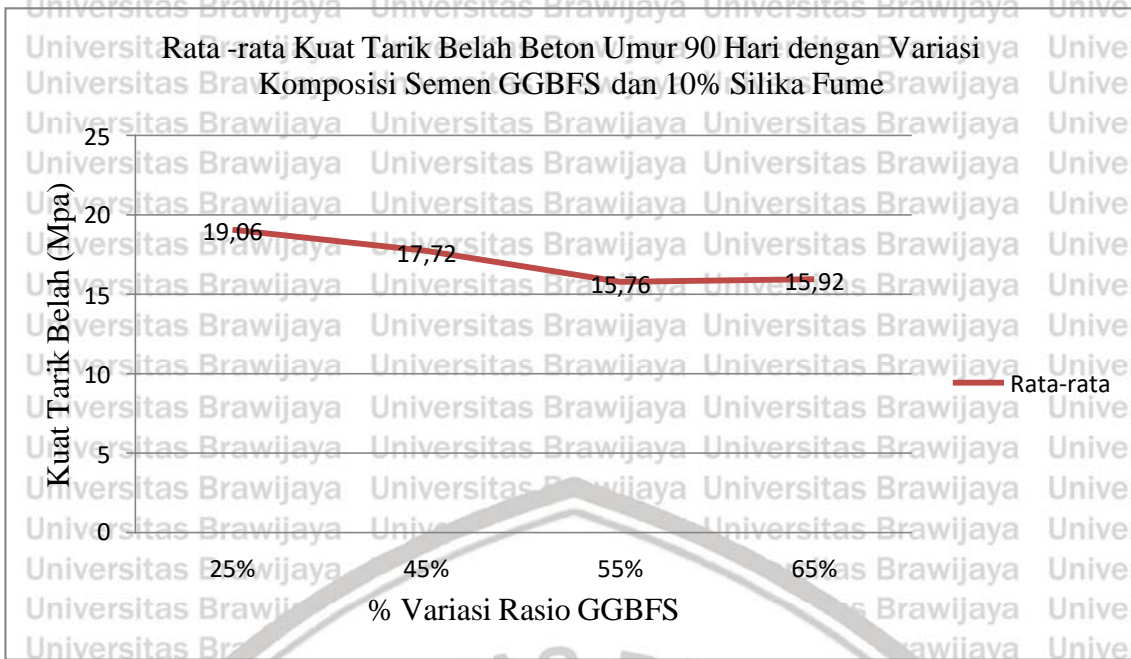


Lampiran 8 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 56 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 10% Silika Fume



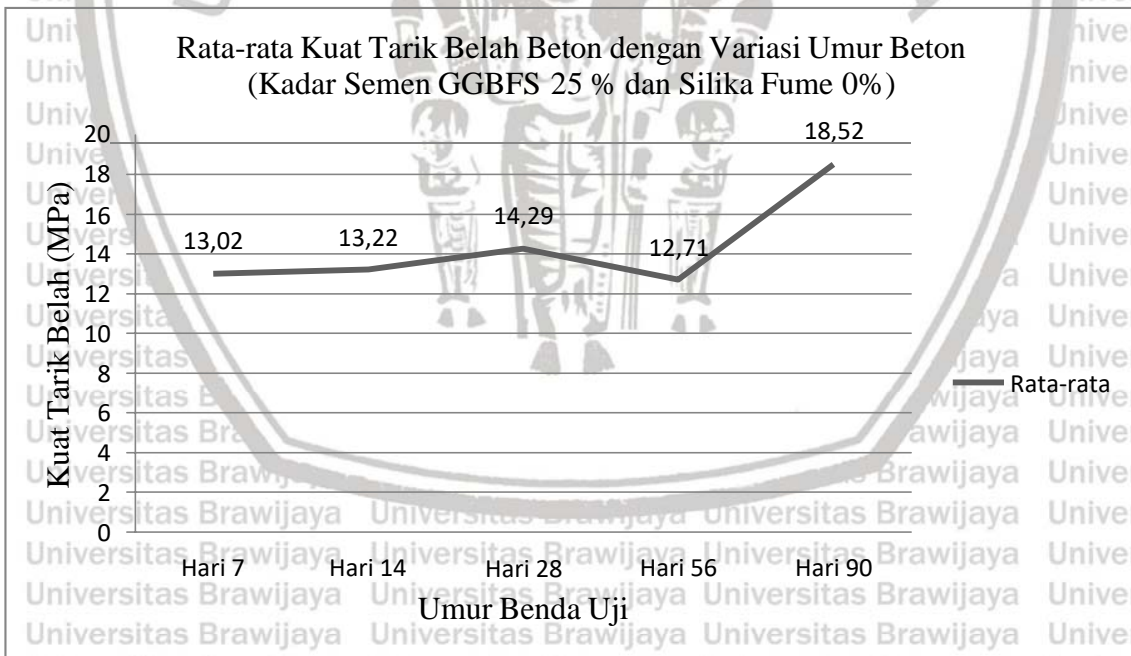
Lampiran 9 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 90 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 0% Silika Fume



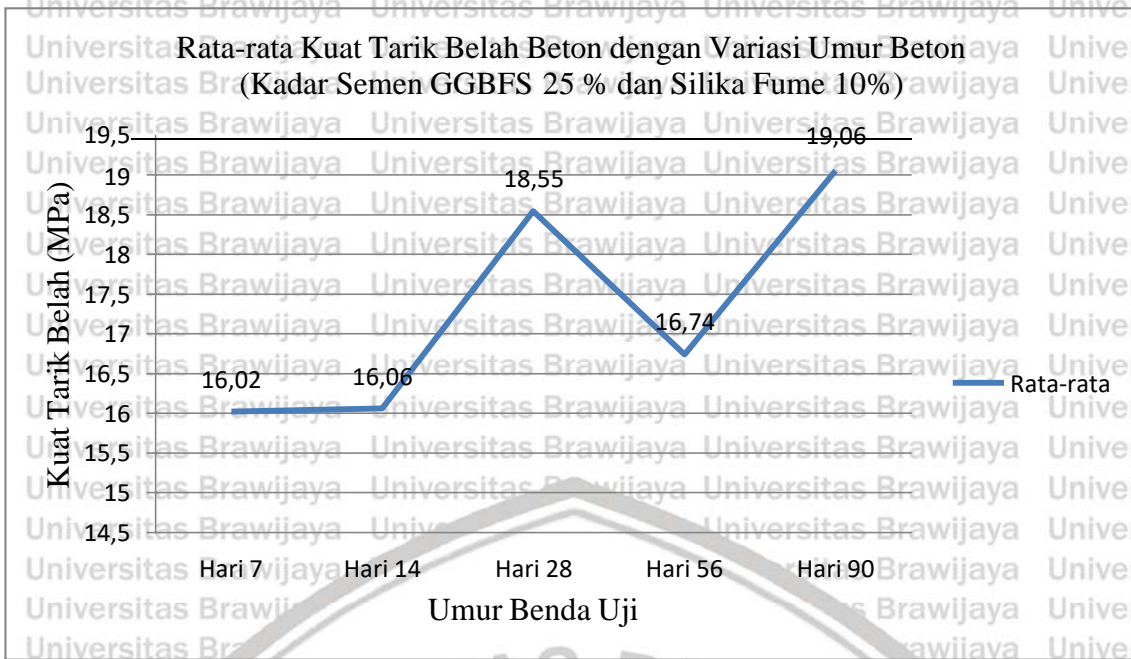


Lampiran 10 Grafik Garis Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Umur 90 Hari dengan Variasi Komposisi GGBFS dan 10% Silika Fume

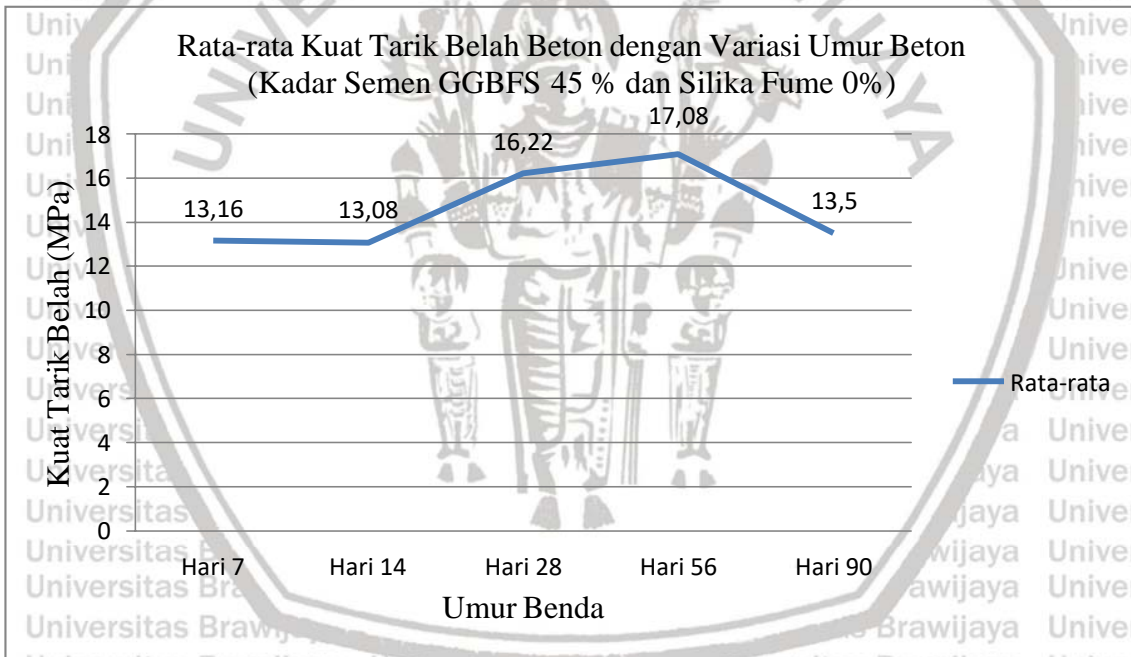
2. Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS dan Kadar Silika Fume).



Lampiran 11 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 25% dan 0% Silika Fume).

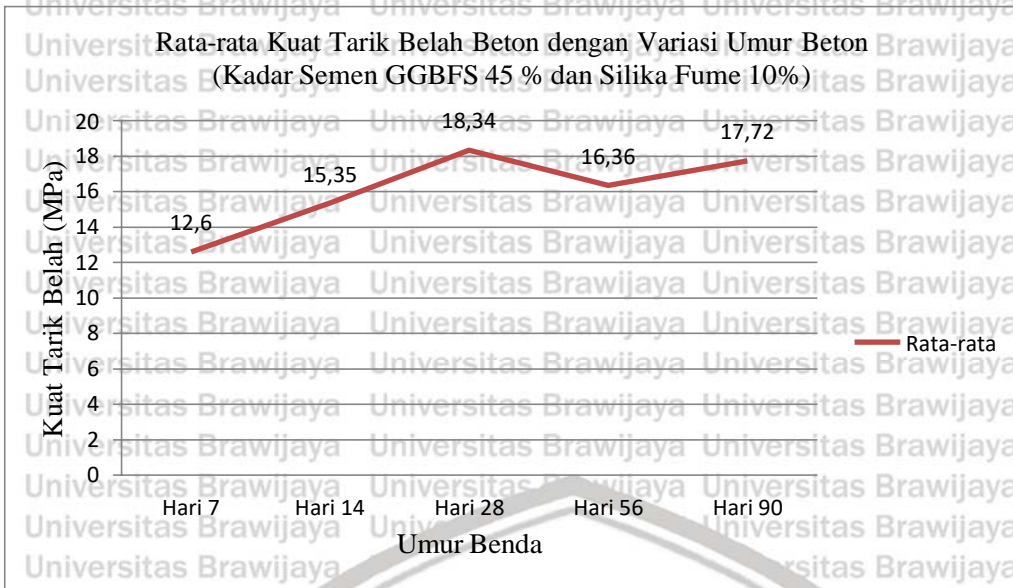


Lampiran 12 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 25% dan 10% Silika Fume).

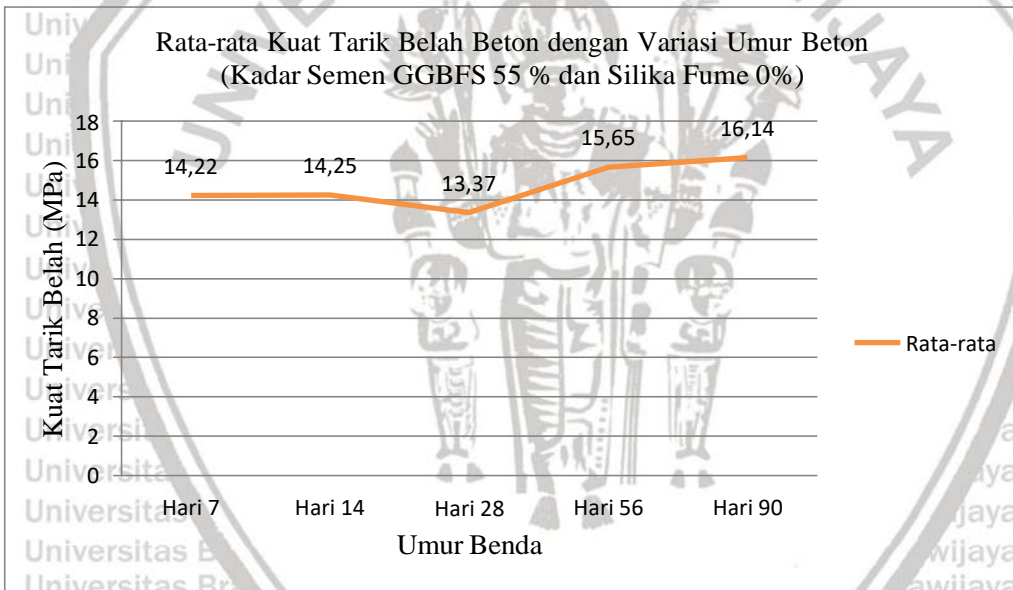


Lampiran 13 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 45% dan 10% Silika Fume).



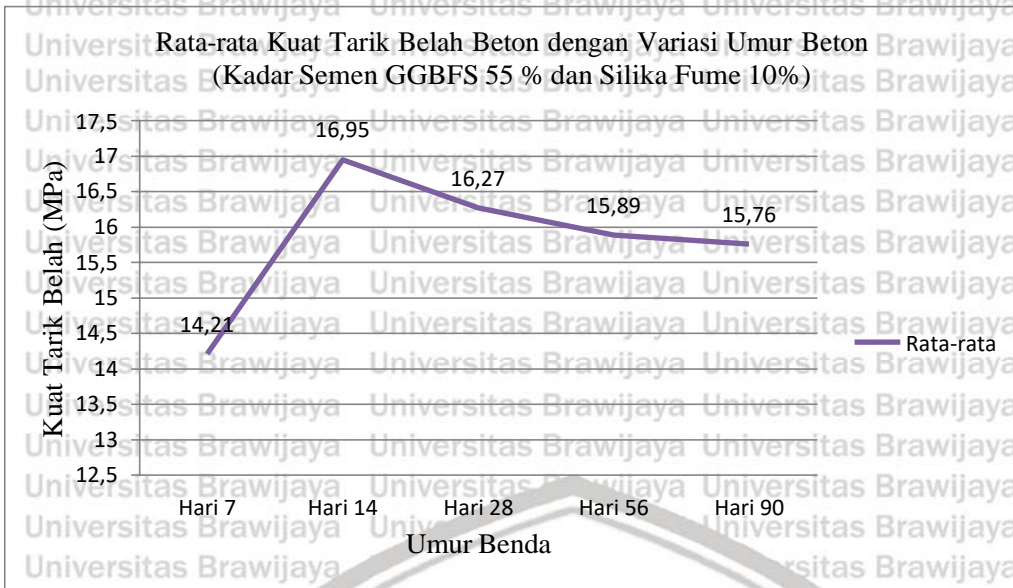


Lampiran 14 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 45% dan 10% Silika Fume).

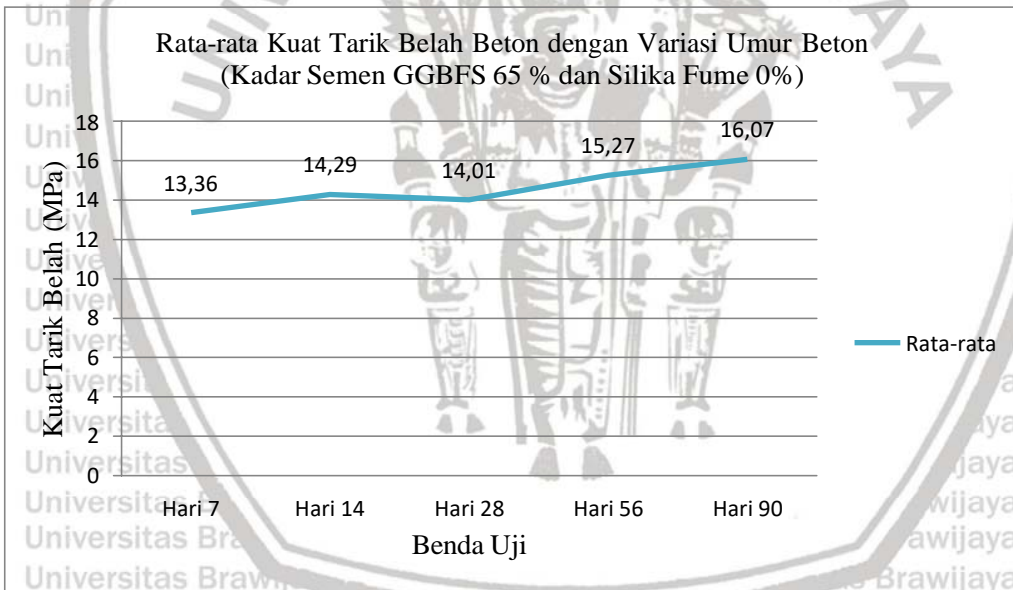


Lampiran 15 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 55% dan 0% Silika Fume).

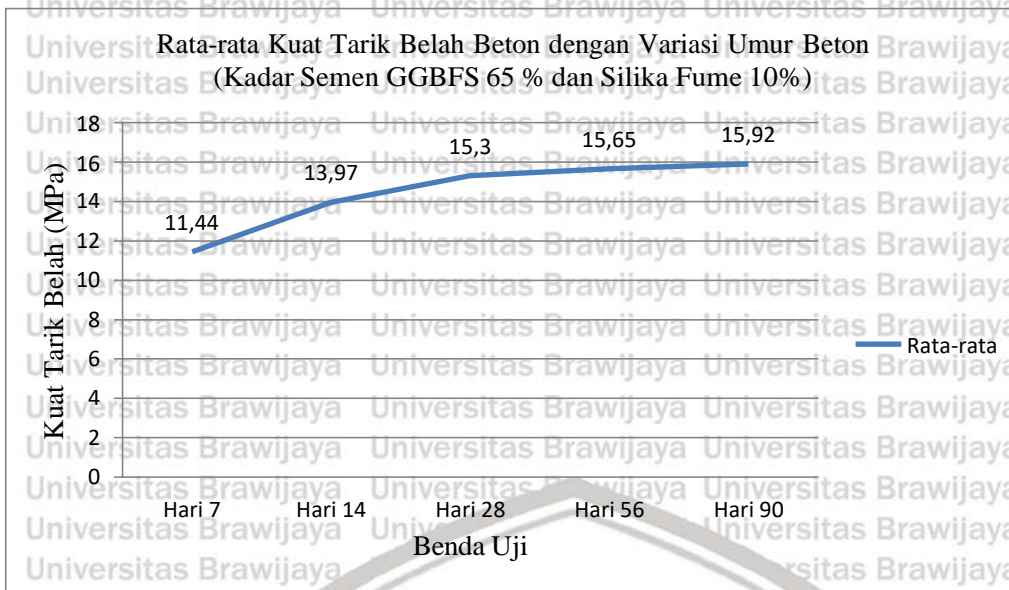




Lampiran 16 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 55% dan 10% Silika Fume).

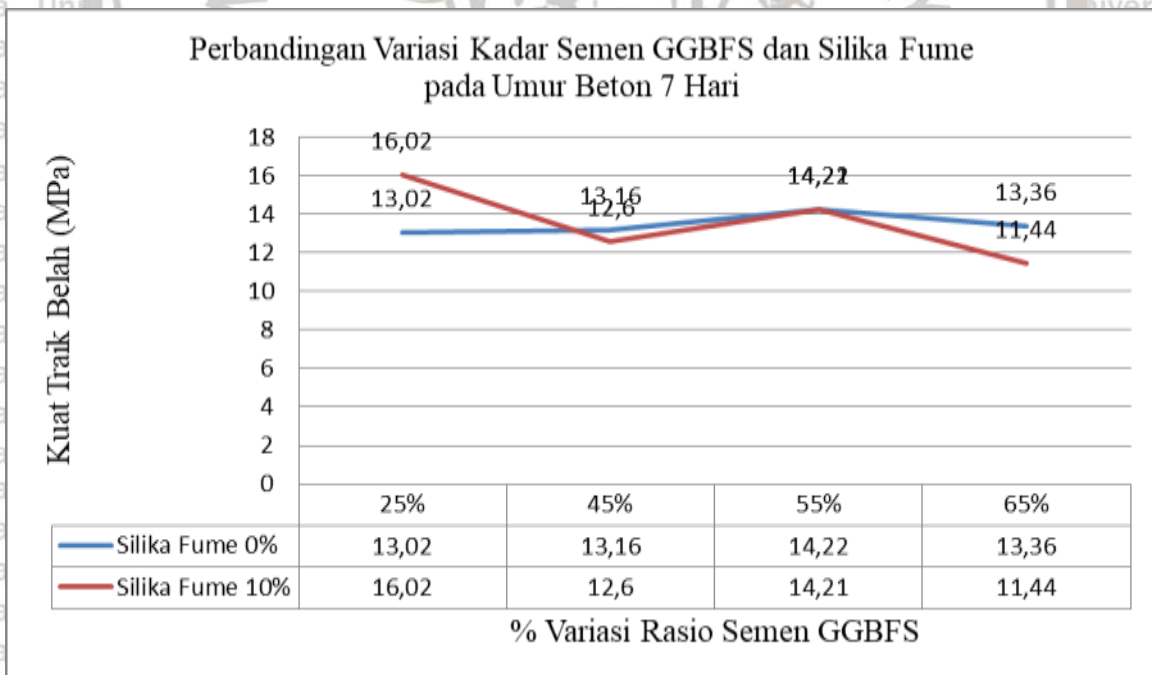


Lampiran 17 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 65% dan 0% Silika Fume).

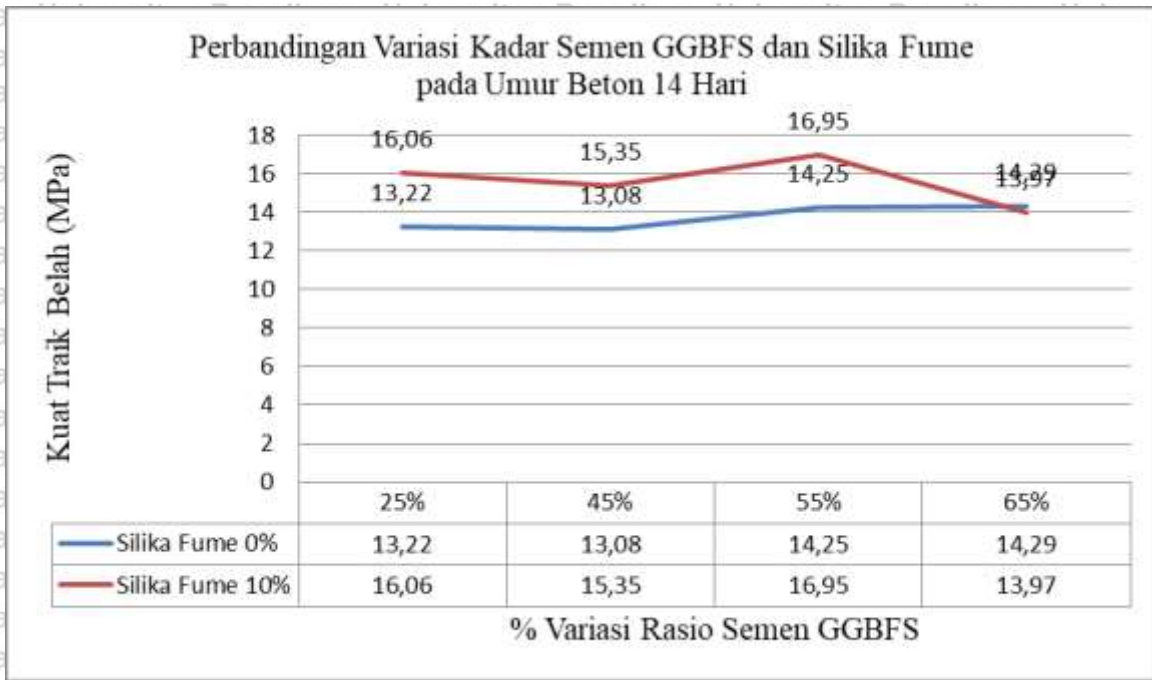


Lampiran 18 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton rata – rata dengan Variasi Umur Beton. (Kadar Semen GGBFS 65% dan 10% Silika Fume).

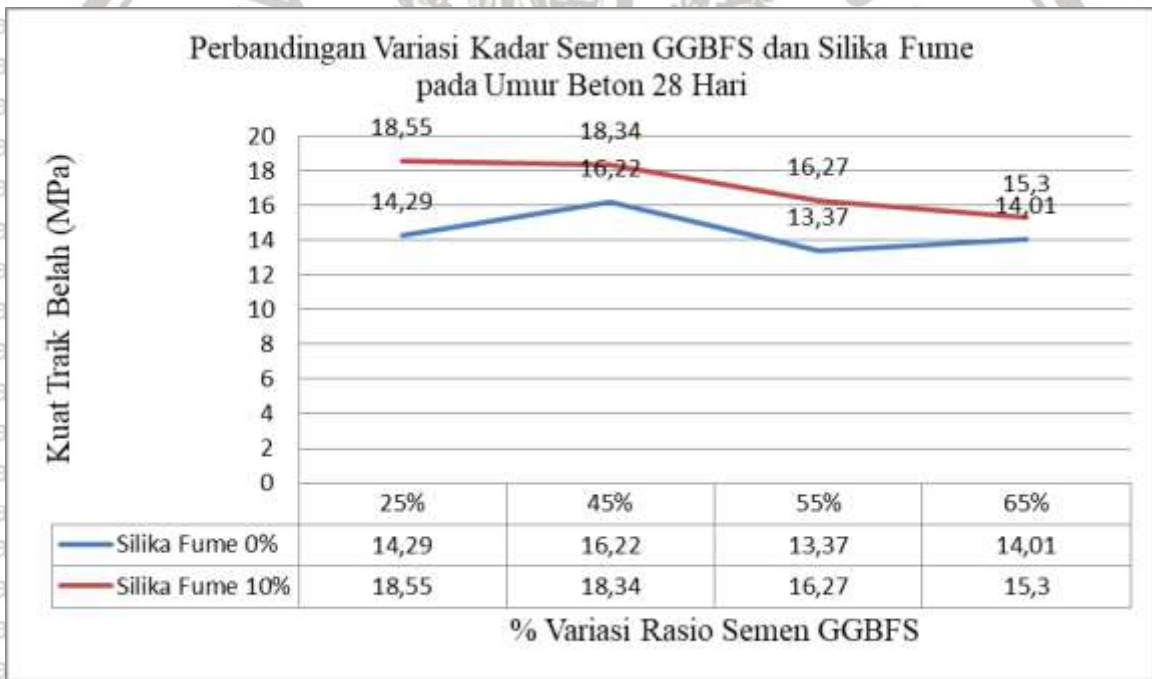
3. Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume



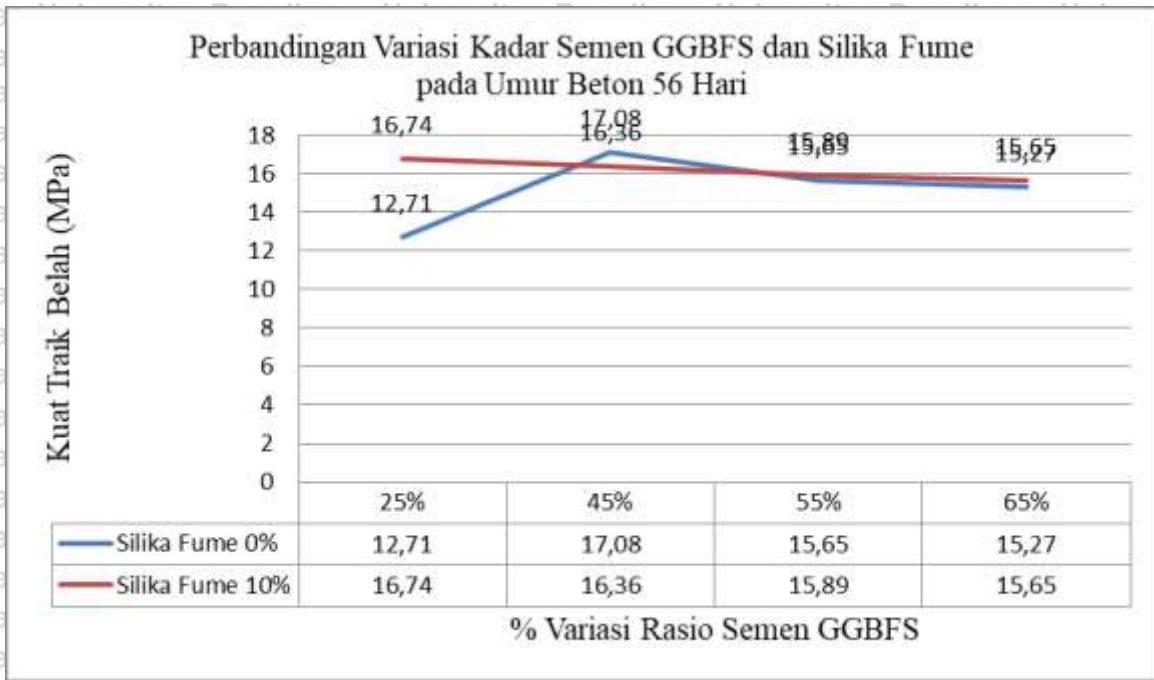
Lampiran 19 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume pada Umur Beton 7 Hari.



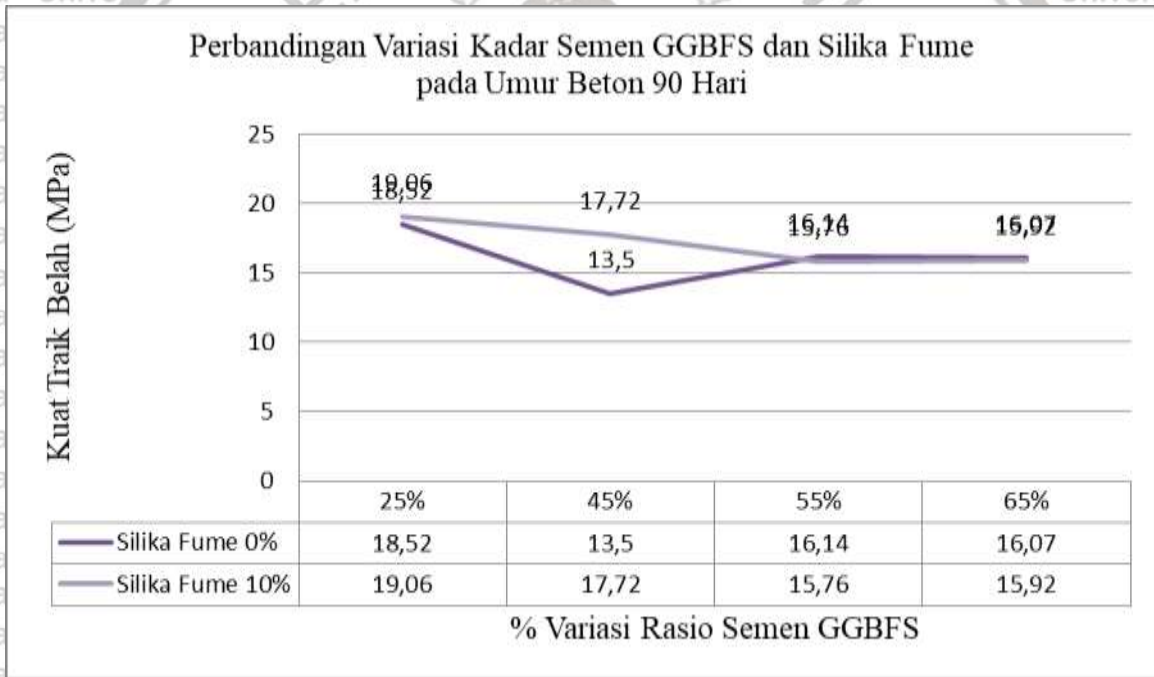
Lampiran 20 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume pada Umur Beton 14 Hari.



Lampiran 21 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume pada Umur Beton 28 Hari.



Lampiran 22 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume pada Umur Beton 56 Hari.



Lampiran 23 Grafik Garis Kuat Tarik Belah Beton terhadap Perbandingan Variasi Kadar Semen GGBFS dan Silika Fume pada Umur Beton 90 Hari.

Tabel 4. 12 Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tarik Belah Umur 7 Hari

Kode	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)	Kuat Tarik Belah Mutu Tinggi (Mpa)	Keterangan
A1B1	13,02	3,22	Mutu Tinggi



A2B1	13,16	3,22	Mutu Tinggi
A3B1	14,22	3,22	Mutu Tinggi
A4B1	13,36	3,22	Mutu Tinggi
A1B2	16,02	3,22	Mutu Tinggi
A2B2	12,6	3,22	Mutu Tinggi
A3B2	14,21	3,22	Mutu Tinggi
A4B2	11,44	3,22	Mutu Tinggi

Sumber: Diolah oleh penulis

Tabel 4. 13 Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tarik Belah Umur 14 Hari

Kode	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)	Kuat Tarik Belah Mutu Tinggi (Mpa)	Keterangan
A1B1	13,22	3,22	Mutu Tinggi
A2B1	13,08	3,22	Mutu Tinggi
A3B1	14,25	3,22	Mutu Tinggi
A4B1	14,29	3,22	Mutu Tinggi
A1B2	16,06	3,22	Mutu Tinggi
A2B2	15,35	3,22	Mutu Tinggi
A3B2	16,95	3,22	Mutu Tinggi
A4B2	13,97	3,22	Mutu Tinggi

Sumber: Diolah oleh penulis

Tabel 4. 14 Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari

Kode	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)	Kuat Tarik Belah Mutu Tinggi (Mpa)	Keterangan
A1B1	14,29	3,22	Mutu Tinggi
A2B1	16,22	3,22	Mutu Tinggi
A3B1	13,37	3,22	Mutu Tinggi
A4B1	14,01	3,22	Mutu Tinggi
A1B2	18,55	3,22	Mutu Tinggi
A2B2	18,34	3,22	Mutu Tinggi
A3B2	16,27	3,22	Mutu Tinggi
A4B2	15,3	3,22	Mutu Tinggi

Sumber: Diolah oleh penulis

Tabel 4. 15 Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tarik Belah Umur 56 Hari

Kode	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)	Kuat Tarik Belah Mutu Tinggi (Mpa)	Keterangan
------	----------------------------------	------------------------------------	------------

A1B1	12,71	3,22	Mutu Tinggi
A2B1	17,08	3,22	Mutu Tinggi
A3B1	15,65	3,22	Mutu Tinggi
A4B1	15,27	3,22	Mutu Tinggi
A1B2	16,74	3,22	Mutu Tinggi
A2B2	16,36	3,22	Mutu Tinggi
A3B2	15,89	3,22	Mutu Tinggi
A4B2	15,65	3,22	Mutu Tinggi

Sumber: Diolah oleh penulis

Tabel 4. 16 Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tarik Belah Umur 90 Hari

Kode	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)	Kuat Tarik Belah Mutu Tinggi (Mpa)	Keterangan
A1B1	18,52	3,22	Mutu Tinggi
A2B1	13,5	3,22	Mutu Tinggi
A3B1	16,14	3,22	Mutu Tinggi
A4B1	16,07	3,22	Mutu Tinggi
A1B2	19,06	3,22	Mutu Tinggi
A2B2	17,72	3,22	Mutu Tinggi
A3B2	15,76	3,22	Mutu Tinggi
A4B2	15,92	3,22	Mutu Tinggi

Sumber: Diolah oleh penulis